

[0008] そこで、本発明は拡散光強度分布特性の任意制御が可能であり、かつ拡散角度領域が特定の角度領域からの入射光に対して変化しない拡散フィルムの実現を目標とし、それをスクリーンとして用いた高品位プロジェクションディスプレイシステムの提供を目指した。さらに、本発明は、複雑な界面に起因する画像のゴーストやコントラスト比の低下を生じさせることなく、かつ出射方向変換効率が高く、出射方向変換角度に限界を有さない光出射方向変換素子の実現を目標とし、それをスクリーンとして用いた薄型高品位プロジェクションディスプレイの提供を目指した。

#### 課題を解決するための手段

[0009] 本発明者らは、上記課題を解決するために鋭意検討した結果、光導波路の原理を用い、入射光の伝搬方向を、面内方向に層状に積層させた平板導波路内で変化させることで、

- 1) 拡散光強度分布特性の任意制御が可能である、
  - 2) 拡散角度領域が特定の角度領域からの入射光に対して変化しない、
  - 3) 入射光のボケが少ない、
  - 4) 高い透過率および低い後方散乱を実現する、
  - 5) 入射光の偏光が保持される、
- という優れた特性を実現する拡散フィルムの構造に想到した。

[0010] また、光導波路の原理を用い、入射光の伝播方向を、面内方向に層状に積層させた湾曲した光導波路内で変化させることで、

- 6) 迷光による画像のゴーストが生じない、
- 7) 後方反射が少ない、
- 8) 光出射方向変換効率が高い、
- 9) 出射方向変換角度に限界を有さない、
- 10) 入射光の偏光が保持される、

という優れた特性を実現する光出射方向変換フィルムの構造に想到した。

[0011] すなわち、本発明は以下のとおりである。

本発明(1)は、入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散

拡散フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層が、フィルム面内の一方向に並んだ縞を形成し、フィルム厚さ方向に対して所定の角度範囲に略トップハット型に分布する層傾き角度の方向に延在する構造を有することを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーンである。

[0012] 本発明(2)は、入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムからなるプロジェクションディスプレイ用スクリーンにおいて、前記拡散フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層が、フィルム面内の一方向に並んだ縞を形成し、フィルム厚さ方向に対して所定の角度範囲に1または2以上のピークを含み該ピーク以外は略トップハット型に分布する層傾き角度の方向に延在する構造を有することを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーンである。

[0013] 本発明(3)は、本発明(1)又は(2)において、前記拡散フィルムの構造は、フィルム厚さ $L$ および縞の幅の最大値 $y_{\max}$ の間に、 $L \geq 10 \times y_{\max}$ なる関係が成立する構造であることを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーンである。

本発明(4)は、入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムからなるプロジェクションディスプレイ用スクリーンにおいて、前記拡散フィルムは、フィルム厚さ方向の一部位に、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす複数の層が、所定の範囲に略トップハット型に分布する層長さをもってフィルム厚さ方向または該方向から傾いた方向に延在する構造を有することを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーンである。

[0014] 本発明(5)は、本発明(4)において、前記拡散フィルムの構造は、前記光導波路の屈折率分布がグラジエントインデックス型の分布をなし、かつ層の傾き角度 $\theta$ 、層長さの最大値 $L_{z\max}$ 、最小値 $L_{z\min}$ および光導波路のピッチ $P$ の間に、 $L_{z\max} - L_{z\min} \geq (P/2) \times \cos \theta$ なる関係が成立する構造であることを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーンである。

[0015] 本発明(6)は、入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムからなるプロジェクションディスプレイ用スクリーンにおいて、前記

拡散フィルムは、本発明(1)～(3)のいずれかに用いる拡散フィルムと同じ構造の部分と本発明(4)または(5)に用いる拡散フィルムと同じ構造の部分とがフィルム厚さ方向またはフィルム面内方向に混在する構造を有することを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーンである。

[0016] 本発明(7)は、入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムからなるプロジェクションディスプレイ用スクリーンにおいて、前記拡散フィルムは、本発明(1)～(3)のいずれかに用いる拡散フィルムの構造と本発明(4)または(5)に用いる拡散フィルムの構造とが融合してなる構造を有することを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーンである。

[0017] 本発明(8)は、入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンである。

[0018] 本発明(9)は、入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンである。

[0019] 本発明(10)は、入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、本発明(8)における構造と本発明(9)における構造とがフィルム厚さ方向およびフィルム面内方向のいずれか一方または両方に混在した構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンである。

[0020] 本発明(11)は、本発明(8)～(10)のいずれかにおいて、前記拡散フィルムの入射光拡散角度領域と前記光出射方向変換フィルムの出射角度領域とがマッチングすることを特徴とする、光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンである。

本発明(12)は、斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在し、その層傾き角度が略トップハット型に分布する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンである。

[0021] 本発明(13)は、斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在し、その層長さが略トップハット型に分布する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンである。

[0022] 本発明(14)は、斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、本発明(12)における構造と本発明(13)における構造とがフィルム厚さ方向およびフィルム面内方向のいずれか一方または両方に混在した構造、または本発明(12)における構造と本発明(13)における構造とが融合した構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンである。

[0023] 本発明(15)は、本発明(8)～(14)のいずれかにおける光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンと、該スクリーンへの入射光を発光するプロジェクタとを有し、該プロジェクタのプロジェクタ開口および配置が前記スクリーンの入射角度領域とマッチングされてなるプロジェクションディスプレイシステム光学系である。

本発明(16)は、本発明(15)において、さらに前記プロジェクタからの発光を反射して前記スクリーンへ入射させる反射鏡を有し、該反射鏡の配置が前記スクリーンの入射角度領域とマッチングされてなるプロジェクションディスプレイシステム光学系である。

## 発明の効果

[0024] 本発明(1)～(7)によれば、

- 1) 拡散光強度分布特性の任意制御が可能である、
- 2) 拡散角度領域が特定の角度領域からの入射光に対して変化しない、
- 3) 入射光のボケが少ない、
- 4) 高い透過率および低い後方散乱を実現する、
- 5) 入射光の偏光が保持される、

という優れた特性を備えたプロジェクションディスプレイ用スクリーンを実現することができる。

[0025] また、本発明(8)～(14)によれば、

- 6) 迷光による画像のゴーストが生じない、
- 7) 後方反射が少ない、
- 8) 光出射方向変換効率が低い、
- 9) 出射方向変換角度に限界を有さない、
- 10) 入射光の偏光が保持される、

という優れた特性を実現する光出射方向変換フィルムおよび光出射方向変換拡散フィルムを実現することができ、さらに、本発明(15)又は(16)によれば、それをスクリーンとして用い、プロジェクタおよび反射鏡の配置、プロジェクタの開口をスクリーンの開口に合わせることで高品位薄型プロジェクションディスプレイを提供することが可能となる。

## 図面の簡単な説明

[0026] [図1]フィルム(1)の1例を示す模式図である。

[図2]フィルム(1)の層傾き角度を示す模式図である。

[図3]フィルム(1)の層傾き角度が所定の範囲に一樣に分布した状態を示す分布図である。

[図4]フィルム(1)の入射角と出射角の関係を示す光強度分布図である。

[図5]フィルム(2)の1例を示す模式図である。

[図7]層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布関数の例を示す図である。

[図8]フィルム(2)の層長さが所定の範囲に一様に分布した状態を示す分布図である。

[図9]フィルム(2)の入射角と出射角の関係を示す光強度分布図である。

[図10]特定の角度領域内からの入射光を特定の角度領域内に拡散させる拡散フィルムからなるリアプロジェクションディスプレイ用スクリーンの概念図である。

[図11]図10のスクリーンの拡散特性を示す光強度分布図である。

[図12](a)はフィルム(3)の1例、(b)はフィルム(4)の1例、(c)はフィルム(5)の1例を示す模式図である。

[図13]本発明に用いる拡散フィルムの入射側部分の層傾き角度分布の測定結果の例を示すグラフである。

[図14]フィルム(1)のモデル式導出の説明図である。

[図15]フィルム(1)のモデル式導出の説明図である。

[図16]グラジエントインデックス型光導波路の屈折率分布を示す図である。

[図17]グラジエントインデックス型光導波路内の光の伝搬を示す図である。

[図18]NAの計算方法の説明図である。

[図19]グラジエントインデックス型光導波路の光軸がフィルム面の法線と角度 $\theta$ 傾いた場合のNAの計算方法の説明図である。

[図20]実施例1に用いた拡散フィルムの構造および拡散特性の説明図である。

[図21]実施例2に用いた拡散フィルムの構造および拡散特性の説明図である。

[図22]本発明のスクリーンの一例およびそれを用いたリアプロジェクションディスプレイシステム光学系の一例を示す側断面模式図である。

[図23]湾曲した光導波路アレイがステップインデックス型である場合の光出射方向変換フィルムの例を示す模式図である。

[図24]角度の符号と回転方向との対応づけの説明図である。

[図25]湾曲した光導波路アレイが層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型である場合の光出射方向変換フィルムの例を示す模式図である。

[図26]ステップインデックス型の光導波路アレイと、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路アレイとが、(a)フィルム厚さ方向に混在する例

、および(b)フィルム面内方向に混在する例を示す模式図である。

[図27]NAに対応する角度範囲と、レンズの直径、焦点距離、結像倍率、結像位置との関係を示す説明図である。

[図28]ステップインデックス光導波路曲線構造モデルの説明図である。

[図29]図7のモデルがフィルム中に形成した状態を示す説明図である。

[図30]図7のモデルがフィルム中に形成した状態を示す説明図である。

[図31]プロジェクションディスプレイシステム光学系の薄型化についての説明図である。

[図32]プリズムを用いた従来技術の概念図である。

[図33]薄型リアプロジェクションディスプレイシステムの例を示す(a)側面図および(b)平面図である。

[図34]直線型グラジエントインデックス光導波路の定義説明図である。

[図35]直線型グラジエントインデックス光導波路内のNAを決定する角度の導出を示す説明図である。

[図36]グラジエントインデックス型の曲がり導波路の折れ線近似モデルの説明図である。

[図37]図36のモデルがフィルム中に形成した状態を示す説明図である。

[図38]グラジエントインデックス型曲がり導波路の出射側で上下対称なNAを発現させる光軸の角度解析の説明図である。

[図39]グラジエントインデックス型曲がり導波路の折れ線近似モデルの曲率半径を示す説明図である。

[図40]放物線型以外に層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布の例を示す説明図である。

[図41]実施例3に用いた光学フィルムの概要(a)と該光学フィルムから作製した曲がり導波路を用いて出射方向を変換させる実験要領(b)を示す説明図である。

[図42]フィルムの厚さの算出方法を示す説明図である。

符号の説明

- 1<sub>A</sub> 層(コア)
- 1<sub>B</sub> 層(クラッド)
- 1<sub>C</sub> 層(層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する層)
- 2 光出射方向変換フィルム
- 2<sub>X</sub> 残部(光導波路以外のフィルム部分)
- 3 拡散フィルム
- 4、4<sub>1</sub>、4<sub>2</sub>、4<sub>3</sub>、4<sub>4</sub>、4<sub>L</sub> 直線型グラジエントインデックス光導波路
- 5、6、7、8、15、16、17、18 光線
- 9 光学フィルム
- 9<sub>1</sub>、9<sub>2</sub> 層
- 9A 光学フィルム片
- 10 スクリーン
- 10A スクリーン光軸
- 11 光源
- 11<sub>1</sub> 入射光
- 11<sub>2</sub> 出射光
- 12 透明媒体
- 20 プロジェクタ(光学エンジン)
- 20A プロジェクタ光
- 21 物体(画像表示パネル)
- 30 プリズム
- 40 屈折
- 50 全反射
- 51 フィルム(1)
- 51<sub>1</sub> 層(コア)
- 51<sub>2</sub> 層(クラッド)
- 52 フィルム(2)
- 52 層



53 フィルム(3)

54 フィルム(4)

53<sub>1</sub>、54<sub>1</sub> フィルム(1)と同じ構造の部分

53<sub>2</sub>、54<sub>2</sub> フィルム(2)と同じ構造の部分

55 フィルム(5)

55<sub>A</sub> フィルム(1)の構造とフィルム(2)の構造とが融合してなる構造

60 拡散フィルム(散乱フィルム)

61 保護板

62 プロジェクタ

M1, M3 ミラー

M2 非球面ミラー

発明を実施するための最良の形態

[0028] 本発明において、光学系を記述する角度については、図24に示すように、基準方向(例えば水平方向(z方向))の角度を0°とし、基準方向から左回転方向(反時計回り)の角度を正(+)、右回転方向(時計回り)の角度を負(-)とする。

《本発明(1)～(7)について》

まず、本発明(1)～(3)における拡散フィルム(フィルム(1))について説明する。

[0029] 図1は、フィルム(1)の1例を示す模式図である。フィルム(1)51は、以下に述べる構造を有することで、入射光拡散角度領域  $\theta_{in}$  から入射した光を出射光拡散角度領域  $\theta_{out}$  に拡散させることができる。なお、フィルム(1)51の厚さLの方向に平行にz軸をとり、z軸に垂直な面内で互いに直交するx軸、y軸をとった。

フィルム(1)51は、隣接相互間で異なる屈折率 $n_1$ 、 $n_2$  ( $n_1 > n_2$ )を有する層51<sub>1</sub>、51<sub>2</sub>がフィルム面内(xy面内)の一方向に交互に並んだ縞(縞の幅 $y_1$ 、 $y_2$ )を形成し、フィルム厚さ方向(z方向)に対して平均傾き角度 $\theta$ の方向に延在する構造を有する。ここで、入射光を均一に拡散させるための層51<sub>1</sub>、51<sub>2</sub>の縞の幅 $y_1$ 、 $y_2$ の条件は、フィルム(1)51の厚さLを用いて以下のように表される。

[0030]  $L \geq 10 \times y_1$ 、  $L \geq 10 \times y_2$

フィルム(1)51の厚さ方向位置により最小傾き角度( $\theta - \Delta \theta_{\max}$ )から最大傾き角度( $\theta + \Delta \theta_{\max}$ )にかけての範囲内で変化する。ここで、 $\theta$ は平均傾き角度、 $\Delta \theta_{\max}$ は $\theta_L$ のばらつき範囲の1/2である。

[0031] このとき、光のロスをなくすための平均傾き角度 $\theta$ の条件は、屈折率 $n_1$ を用いて以下のように表される。

$$-\sin^{-1}(1/n_1) \leq \theta \leq \sin^{-1}(1/n_1)$$

上記のような構造を有するフィルム(1)51内の各層はステップインデックス型光導波路と同等である。かかる層では、入射光を均一に拡散させるための層傾き角度の分布条件は、図3に示すように、層傾き角度 $\theta_L$ の存在確率が所定の範囲( $(\theta - \Delta \theta_{\max}) \sim (\theta + \Delta \theta_{\max})$ )でトップハット型(矩形波状)に分布するというものである。もっとも、実際には完全なトップハット型とするのは困難であるから、本発明では、層傾き角度の所定の範囲での存在確率が、その分布曲線において、プラト一部の存在確率がその平均値の $\pm 40\%$ 以内でばらつくこと、および立上り部と立下り部の各変域幅が分布曲線全体の最尤半値幅の $\pm 30\%$ 以内でばらつくことを許容し、略トップハット型に分布するものと規定した。

[0032] また、実際には、所定の範囲内での層傾き角度の略トップハット型の分布に1個または2個以上のピークが混在する場合があるが、この存在確率のピーク値がピークを除いた平均値の1000%以下であれば本発明の効果への悪影響は小さいので、かかる場合も本発明に含めた。なお、ピーク個数は5個程度以下であることが好ましい。

拡散光強度の一様性は層傾き角度存在確率のみでなく層長さにも依存し、層が長くなればなるほど入射光は多重反射を繰り返すことから均一な拡散光強度分布特性が得られる。このためフィルム厚さ $L$ が $50 \times y_{\max}$ を超えるような厚いフィルムでは上記許容範囲はさらに大きくなる。ここで $y_{\max}$ は $y_1$ と $y_2$ のどちらか大きいほうである。

[0033] 以上の条件を満たすフィルム(1)では、これに入射光拡散角度領域から入射した光は出射光拡散角度領域に略一様な光強度で拡散される。

ここで、入射光拡散角度領域 $\theta_{in}$ は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \text{Min}[\theta_1', \theta_1'', \theta_2', \theta_2''] &\leq \theta_{in} \leq \text{Max}[\theta_1', \theta_1'', \theta_2', \theta_2''] \\ \theta_1' &= \sin^{-1}[n \times \sin\{\theta + \Delta \theta_{\max} + \cos^{-1}(n/n_1)\}] \quad \dots (1) \end{aligned}$$

$$\theta_1'' = \sin^{-1}[n_1 \times \sin\{\theta - \Delta\theta_{\max} + \cos^{-1}(n_2/n_1)\}] \quad \cdots (2)$$

$$\theta_2' = -\sin^{-1}[n_1 \times \sin\{-(\theta + \Delta\theta_{\max}) + \cos^{-1}(n_2/n_1)\}] \quad \cdots (3)$$

$$\theta_2'' = -\sin^{-1}[n_1 \times \sin\{-(\theta - \Delta\theta_{\max}) + \cos^{-1}(n_2/n_1)\}] \quad \cdots (4)$$

なお、 $\text{Max}\{a, b\}$ は、 $a$ と $b$ のうち大きい方を表し、 $\text{Min}\{a, b\}$ は、 $a$ と $b$ のうち小さい方を表す(以下同じ)。

[0034] また、出射光拡散角度領域  $\theta_{\text{out}}$ は以下のように表される。

$$\text{Min}[\theta_1', \theta_1'', \theta_2', \theta_2''] \leq \theta_{\text{out}} \leq \text{Max}[\theta_1', \theta_1'', \theta_2', \theta_2''] \quad \cdots (5)$$

以上の入射角と出射角の関係を図4に示す。

上記角度  $\theta_1', \theta_1'', \theta_2', \theta_2''$ は、次のようにして導出される。

[0035] フィルム(1)は、ステップインデックス型の光導波路(以下、単に導波路ともいう)が1次元のアレイをなし、層構造を構成しているものであり、この層の方向がバラツキを有しているフィルムである。層の平均方向を $\theta$ とし、この $\theta$ を中心に $\pm \Delta\theta_{\max}$ だけバラツいたモデルを考える。このモデルで層傾き角度の分布が $(\theta - \Delta\theta_{\max}) \sim (\theta + \Delta\theta_{\max})$ の間で均一にバラツいている場合、 $(\theta - \Delta\theta_{\max})$ で決まる臨界角と、 $(\theta + \Delta\theta_{\max})$ で決まる臨界角の間の角度の光線は多重反射をくりかえし、この間の角度を一樣に埋めてゆくことになる。このメカニズムは、反射面が直線ではなく曲線で構成され、ある方向から入射した平面波(光線)が曲面波(反射面が2次曲線で構成された場合球面波)に変換され、臨界角を超える角度になるとそれ以上反射がほとんど起らず、入射方向には依存しないトップハットの拡散特性が発現するというものである。このトップハット特性を決めるのが、 $(\theta - \Delta\theta_{\max})$ で決まる臨界角と、 $(\theta + \Delta\theta_{\max})$ で決まる臨界角である。

[0036] 層傾き角度 $(\theta - \Delta\theta_{\max})$ で決まる臨界角には、導波路の上側と下側の2通りあり、同様に、層傾き角度 $(\theta + \Delta\theta_{\max})$ で決まる臨界角にも、導波路の上側と下側の2通りあるため、計4通りの角度が存在することになる。

まず、層傾き角度 $(\theta + \Delta\theta_{\max})$ の場合について導出を行う。空気の屈折率を $n_{\text{air}}$ 、コア51の屈折率を $n_1$ 、クラッド52の屈折率を $n_2$  ( $n_1 > n_2$ )とし、図14の入射側のフィルム界面でスネル則を適用すると、次式が得られる。

$$[0037] \quad n_1 \times \sin \theta' = n_2 \times \sin \theta \quad \cdots (A1)$$

次に、コア51<sub>1</sub>に入った光がクラッド51<sub>2</sub>との上側の界面で全反射するぎりぎりの角度、つまり臨界角は、次式で与えられる。

$$n_1 \times \sin\{\pi/2 - \theta_3 + (\theta + \Delta\theta \max)\} = n_2 \times \sin 90^\circ \quad \dots (A2)$$

式(A1)、(A2)より、次式が得られる。

$$[0038] \quad \theta_1' = \sin^{-1}[n_1 \times \sin\{\theta + \Delta\theta \max + \cos^{-1}(n_2/n_1)\}] \quad \dots (A3)$$

次に、導波路の下側の界面で決まる角の導出を行う。図15の入射側のフィルム界面にスネル則を適用すると、次式が得られる。

$$n_{\text{air}} \times \sin(-\theta_2') = n_1 \times \sin(-\theta_4) \quad \dots (A4)$$

次に、コア51<sub>1</sub>に入った光がクラッド51<sub>2</sub>との下側の界面で全反射するぎりぎりの角度(臨界角)は次式で与えられる。

$$[0039] \quad n_1 \times \sin\{\pi/2 - (-\theta_4) - (\theta + \Delta\theta \max)\} = n_2 \times \sin 90^\circ \quad \dots (A5)$$

式(A4)、(A5)より、次式が得られる。

$$\theta_2' = -\sin^{-1}[n_1 \times \sin\{-(\theta + \Delta\theta \max) + \cos^{-1}(n_2/n_1)\}] \quad \dots (A6)$$

以上が、層傾き角度( $\theta + \Delta\theta \max$ )の場合の上側、下側のコア/クラッド界面で決まる角 $\theta_1'$ と $\theta_2'$ の導出である。

[0040] 同様に、層傾き角度( $\theta - \Delta\theta \max$ )の場合、式(A3)、(A6)において( $\theta + \Delta\theta \max$ )を( $\theta - \Delta\theta \max$ )に置換し、次式が得られる。

$$\theta_1'' = \sin^{-1}[n_1 \times \sin\{\theta - \Delta\theta \max + \cos^{-1}(n_2/n_1)\}] \quad \dots (A7)$$

$$\theta_2'' = -\sin^{-1}[n_1 \times \sin\{-(\theta - \Delta\theta \max) + \cos^{-1}(n_2/n_1)\}] \quad \dots (A8)$$

かくして、4つの角度の導出が完了する。

[0041] フィルム(1)では層傾き角度の存在確率により出射光の拡散光強度分布特性が決定される。上記例では入射光をトップハットの的な光強度分布で拡散させるために、図3のように層傾き角度の存在確率をトップハット型に分布するものとしたが、同様の物理法則に則った議論により存在確率を略トップハット型(台形型等を含む)に分布するように変化させることで、トップハットの的なもの以外(例えば台形型、ガウス分布型等)の所望の拡散光強度分布特性を得ることが可能である。

[0042] なお、図1、図2の例では厚み方向にのみ層傾き角度がばらつき、面内方向には層傾き角度にばらつきを有さないフィルムを示したが、厚み方向のみでなく面内方向に

も層傾き角度をばらつかせる、または面内方向にのみ層傾き角度をばらつかせ、上記例と同じ物理法則に則った議論により層傾き角度存在確率を変化させることで、所望の拡散光強度分布特性を得ることが可能である。

[0043] また、図1、図2の例ではフィルム面を平面としたが、フィルム面が曲面である場合についても、曲面を微小な平面の集まりと考えることで同様に扱うことが可能である。

また、図1、図2の例では層を2種類としているが、3種類以上の層を有する構造であっても同様に扱うことができる。

次に、本発明(4)ないし(5)における拡散フィルム(フィルム(2))について説明する。

[0044] 図5は、フィルム(2)の1例を示す模式図である。また、図5の要部を拡大して図6に示す。フィルム(2)52は、以下に述べる構造を有することで、入射光拡散角度領域  $\theta_{in}$  から入射した光を出射光拡散角度領域  $\theta_{out}$  に拡散させることができる。なお、フィルム(2)52の厚さLの方向に平行にz軸をとり、z軸に垂直な面内で互いに直交するx軸、y軸をとった。

[0045] フィルム(2)52は、フィルム厚さ方向の一部位に、z方向と傾き角度  $\theta$  (フィルム(1)の平均傾き角度と同じ記号  $\theta$  を用いる)をなす界面で区切られた厚さ  $b_1$  の層52<sub>1</sub> がy方向に複数重なった構造を有する。層52<sub>1</sub> は、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす。なお、層52<sub>1</sub> 以外のフィルム(2)部分は一定の屈折率  $n_g$  を有する。ここで、入射光を均一に拡散させるための層の厚さ  $b_1$  の条件は、フィルム(2)の厚さLを用いて、 $L \geq 10 \times b_1$ 、なる式で表される。

[0046] z方向に対する層52<sub>1</sub> の相互界面の角度(層の角度)  $\theta$  は  $0^\circ$  (層52<sub>1</sub> の延長方向がフィルム面に垂直)であってもよい。層52<sub>1</sub> の層長さ(フィルム厚さ方向の長さ)を  $L_{zmin} \sim L_{zmax}$  とする。図6に示すように、z軸、y軸をx軸の回りに角度  $\theta$  だけ回転させたものをa軸、b軸とする。すなわちb軸は層の厚さ方向に平行、a軸はb軸とx軸に垂直である。

[0047] 層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布関数の例としては、図7に示すようなものが挙げられる。図7(a)は、次式で表される屈折率分布を有するグラジエントインデックス型光導波路に該当する。

$$n(b) = n_g \times (1 - (A/2) \times b^2) \quad -b/2 < b < b/2 \quad A: \text{係数} \dots (a)$$

ここで、入射光を均一に拡散させるための層長さの条件は、層傾き角度  $\theta$ 、層長さの最大値  $L_{zmax}$ 、最小値  $L_{zmin}$  および光導波路のピッチ  $P$  を用いて次式で表される。

$$[0048] \quad L_{zmax} - L_{zmin} \geq (P/2) \times \cos \theta \quad \dots (7)$$

$$P = 2 \times \pi / \sqrt{A} \quad \dots (8)$$

$$A = (8/b_1^2) \times (n_1 - n_2)/n_1 \quad \dots (9)$$

このとき、層長さの存在確率は図8に示すようにトップハット型に分布するのが理想であるが、実際には完全なトップハット型とするのは困難であるから、本発明では、 $L_{zmin} \sim L_{zmax}$  の範囲での層長さの存在確率が、その分布曲線において、プラトー部の存在確率がその平均値の  $\pm 40\%$  以内でばらつくこと、および立上り部と立下り部の各変域幅が分布曲線全体の最尤半値幅の  $\pm 30\%$  以内でばらつくことを許容し、略トップハット型に分布するものと規定した。

[0049] 以上の条件を満たすフィルム(2)では、これに入射光拡散角度領域から入射した光は出射光拡散角度領域に略一様な光強度で拡散される。

ここで、入射光拡散角度領域  $\theta_{in}$  は以下の式で表される。

$$\theta_{NA2} \leq \theta_{in} \leq \theta_{NA1} \quad \dots (10)$$

$$\theta_{NA1} = \sin^{-1} \{ n_g \times \sin(\theta + \theta_{gl}) \} \quad \dots (11)$$

$$\theta_{NA2} = \sin^{-1} \{ n_g \times \sin(\theta - \theta_{gl}) \} \quad \dots (12)$$

$$\sin \theta_{gl} = (n_1/n_g) \times \sin \{ \tan^{-1}(n_1 \times \sqrt{A \times b_1}/2) \} \quad \dots (13)$$

また、出射光拡散角度領域  $\theta_{out}$  は以下のように表される。

$$[0050] \quad \theta_{NA2} \leq \theta_{out} \leq \theta_{NA1} \quad \dots (14)$$

以上の入射角と出射角の関係を図9に示す。

図7(a)の屈折率分布をもつグラジエントインデックス型光導波路に入射した光は、導波路内部において、

$$\theta - \tan^{-1}(n_1 \times \sqrt{A \times b_1}/2) \sim \theta + \tan^{-1}(n_1 \times \sqrt{A \times b_1}/2) \quad \dots (15)$$

の範囲で進行方向を変えながら伝搬することから、層長さの存在確率の違いにより拡散光強度分布特性が決定される。

[0051] 上記のように、フィルム(2)の1形態では、グラジエントインデックス型光導波路がアレイ構造をなし、光導波路の長さ方向の位置により光の伝搬方向が異なるため、導波

路の長さがばらついている場合導波路ごとの出射端面での出射角度が変化し、光の拡散が発現する。このため導波路内部での伝搬方向の変化が導波路長さに対して線形であるとき、長さのバラツキが均一であることによりトップハットの光の拡散特性が実現する。

[0052] ここで、このメカニズムを解析する式の導出と説明を行う。

まず、光導波路の1つに着目する。図16に示すように、光導波路の中心から対称に、屈折率分布関数が、次の2次関数の式(B1)で与えられるとする。

$$n(r) = n_1 \times (1 - A/2 \times r^2) \quad \dots\dots (B1)$$

ここで、 $n_1$ は中心軸上の屈折率、 $A$ は屈折率分布定数、 $r$ は中心からの距離である。光導波路の厚さ方向の両界面位置座標 $\pm b_1/2$ での屈折率を $n_2$ とすれば、 $A = (8/b_1^2) \times (n_1 - n_2)/n_1$ である。

[0053] 図17に示すように、グラジエントインデックス型光導波路の中心に $z$ 軸をとり、光の入射面の位置を $z = z_1$ とする。この $z$ 軸からの距離が $r$ である。光の入射面の位置での $z$ 軸からの距離を $r_1$ 、この位置での光導波路内の光線方向を、 $r_1^* = dr_1/dz = \tan \theta_1$ とする。同様に、光の出射面においても、その位置を $z = z_2$ とし、 $z$ 軸からの距離を $r_2$ 、この位置での光導波路内の光線方向を、 $r_2^* = dr_2/dz = \tan \theta_2$ とする。

[0054] 光入射面の光線の位置と方向を表すベクトル(入力ベクトル) $[r_1, r_1^*]$ と光出射面の光線の位置と方向を表すベクトル(出力ベクトル) $[r_2, r_2^*]$ の間には次式(B2)の関係が成り立つ。

[0055] [数1]

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ r_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\{\sqrt{A}(z_2 - z_1)\} & \sin\{\sqrt{A}(z_2 - z_1)\} \\ -n_1 \sqrt{A} \sin\{\sqrt{A}(z_2 - z_1)\} & \cos\{\sqrt{A}(z_2 - z_1)\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_1^* \end{bmatrix} \quad \dots\dots (B2)$$

[0056] 式(B2)は光の入射位置 $r_1$ とその位置での光線方向 $r_1^*$ によらず、ある一定の距離だけ $z$ 軸方向に進むと、 $z$ 軸からの距離とその位置での光線方向が周期的に元の

ジェントインデックス型光導波路のピッチ(P)である。簡単のために入射面の位置を $z_1 = 0$ とすると、式(B2)は次式(B3)となる。

[0057] [数2]

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ r_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\sqrt{A}z_2) & \frac{\sin(\sqrt{A}z_2)}{n_1\sqrt{A}} \\ -n_1\sqrt{A}\sin(\sqrt{A}z_2) & \cos(\sqrt{A}z_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_1^* \end{bmatrix} \quad \dots(B3)$$

[0058] 式(B3)よりピッチ(P)を求める。式(B3)中の $2 \times 2$ 行列の成分はsinとcosの関数であるため、 $\sqrt{A} \times z_2$ が $2\pi$ 変化すると光線の位置と方向が元に戻るため、ピッチ(P)は次式より求まる。

$$\sqrt{A} \times P = 2\pi \quad \dots(B4)$$

$$\text{よって、} P = 2\pi / \sqrt{A} \quad \dots(B5)$$

次に、開口数NA(Numerical Aperture)の計算を行う。このNAはグラジエントインデックス型光導波路を伝搬できる光線と光軸との角度のうち、最大の角度で与えられる。NAを求めるため、図18に示すように、グラジエントインデックス型光導波路の長さ $z_2$ を $P/4$ とし、入射光線を $z_1 = 0$ の面で光線位置 $r_1 = b_1/2$ (光導波路の厚さ方向の端)、光線方向を光軸と平行とする( $r_1^* = dr_1/dz = \tan \theta_1 = 0$ )。

[0059] よって、入力ベクトル $[r_1, r_1^*]$ は次式(B6)となる。一方、出力ベクトル $[r_2, r_2^*]$ は、グラジエントインデックス型光導波路の長さ $z_2 = P/4$ で、入射光が光軸と平行であるため $r_2 = 0$ となるので、次式(B7)で与えられる。式(B5)より $P = 2\pi / \sqrt{A}$ を用いると、 $z_2 = P/4$ は次式(B8)となる。そこで、式(B6)、(B7)、(B8)を式(B3)へ代入し、整理すると次式(B9)となる。

[0060] [数3]



$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_1^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{b_1}{2} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots(B6)$$

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ r_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ r_2^* \end{bmatrix} \quad \dots(B7)$$

$$z_2 = \frac{P}{4} = \frac{\pi}{2\sqrt{A}} \quad \dots(B8)$$

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ r_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{n_1\sqrt{A}} \\ -n_1\sqrt{A} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{b_1}{2} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots(B9)$$

[0061] 式(B9)より、光導波路内での出射面における光軸との角度  $\theta_{NA0}$  は次式により与えられる。

$$r_2^* = \tan \theta_{NA0} = -n_1 \times \sqrt{A} \times b_1 / 2 \quad \dots(B10)$$

よって、式(B10)より、 $\theta_{NA0}$  を正の値とすると、 $\theta_{NA0}$  は次式で与えられる。

$$\theta_{NA0} = \tan^{-1}(n_1 \times \sqrt{A} \times b_1 / 2) \quad \dots(B11)$$

この光の空気層への出射角  $\theta_{NA0}$  は、光軸上の出射面にスネル則を適用して、次式の関係を満たす。

$$n_{air} \times \sin \theta_{NA0} = n_1 \times \sin \theta_{NA0} \quad \dots(B12)$$

ここで、 $n_{air}$  は空気の屈折率である。

式(B11)、(B12)より、このグラジエントインデックス型光導波路のNAは次式で与えられる。

$$NA = \sin \theta_{NA0} = (n_1 / n_{air}) \times \sin \{ \tan^{-1}(n_1 \times \sqrt{A} \times b_1 / 2) \} \quad \dots(B13)$$

よって、グラジエントインデックス型光導波路長さのバラツキ  $Lz_{max} - Lz_{min}$  が  $P/2$  より大きく、均一にバラツキている場合、式(B13)で与えられるNAの角度  $\pm \theta_{NA0}$  内でトップハットの的な光の拡散が発現することになる。

[0063] 以上の解析は、グラジエントインデックス型光導波路の光軸がフィルム面の法線と一致している場合についてのものである。

次に、光軸がフィルム面の法線と角度  $\theta$  だけ傾いた場合の解析を行う。図19に示

すように、フィルム内で  $\theta$  だけ傾いたグラジエントインデックス型光導波路が存在すると、光導波路の入射側と出射側に、同じ頂角のプリズムが逆向きに設置された光学系となる。この光学系のNAを求めれば、 $\theta$  だけ傾いたグラジエントインデックス型光導波路により構成されるフィルムのトップハット特性を記述できる。

- [0064] 図19に示す光学系は入射側と出射側とが同じ構造であるので、出射側で解析する。図19中の  $\theta_{NA0}$  は式(B11)で与えられるものである。グラジエントインデックス型光導波路の光軸と、出射側プリズムとの境界部にスネル則を適用し、次式を得る。

$$n_1 \times \sin \theta_{NA0} = n_g \times \sin \theta_{g1} \quad \cdots (B14)$$

ここで、 $n_g$  はプリズムの屈折率である。

- [0065] 次に、上側へ進行する光線<sub>1</sub>に着目し、この光線がプリズムから空気層へ出射する境界にスネル則を適用し、次式を得る。

$$n_g \times \sin(\theta + \theta_{g1}) = n_{air} \times \sin \theta_{NA1} \quad \cdots (B15)$$

次に、下側へ進行する光線<sub>2</sub>に着目し、プリズムから空気層へ出射する境界にスネル則を適用し、次式を得る。

$$n_g \times \sin(\theta - \theta_{g1}) = n_{air} \times \sin \theta_{NA2} \quad \cdots (B16)$$

式(B11)の  $\theta_{NA0}$  を(B14)式に代入し、 $\sin \theta_{g1}$  を求め、次式を得る。

$$\sin \theta_{g1} = (n_1/n_g) \times \sin\{\tan^{-1}(n_1 \times \sqrt{A \times b}/2)\} \quad \cdots (B17)$$

$n_{air} = 1.0$  として、式(B15),(B16)より  $\theta_{NA1}$  と  $\theta_{NA2}$  を求めるとそれぞれ次式として与えられる。

$$\theta_{NA1} = \sin^{-1}\{n_g \times \sin(\theta + \theta_{g1})\} \quad \cdots (B18)$$

$$\theta_{NA2} = \sin^{-1}\{n_g \times \sin(\theta - \theta_{g1})\} \quad \cdots (B19)$$

よって、この光学系は入射側と出射側は同じ構造なので、入出力のNAの角度はそれぞれ次式のようになる。

$$\theta_{NA2} \leq \theta_{in} \leq \theta_{NA1} \quad \cdots (B20)$$

$$\theta_{NA2} \leq \theta_{out} \leq \theta_{NA1} \quad \cdots (B21)$$

光導波路内の光の蛇行する角は、光軸が  $\theta$  傾いているので、 $\theta - \theta_{NA0} \sim \theta + \theta_{NA0}$  となる。これに式(B11)の  $\theta_{NA0}$  を代入すると次式が得られる。

$$\theta - \tan^{-1}(n \times \sqrt{A \times b}/2) \sim \theta + \tan^{-1}(n \times \sqrt{A \times b}/2) \quad \cdots (B22)$$

また、光軸が $\theta$ 傾いているため、バラツキの長さは、 $\theta = 0^\circ$ の時の $\cos \theta$ 倍に変わるため、 $L_{z\max} - L_{z\min}$ は次式で与えられる。

$$L_{z\max} - L_{z\min} \geq (P/2) \times \cos \theta \quad \dots (B24)$$

以上で、フィルム(2)の層が図7(a)の屈折率分布を有するものについての式の導出および説明を終了する。

[0069] 一方、図7(b)の屈折率分布は、グラジエントインデックス型光導波路のそれとはいくぶん異なるが、これも層厚さ方向に集光能力(入射光を層内部に留めようとする集光能力)を発現しうるので、グラジエントインデックス型光導波路の場合と同様に扱うことができ、層長さの存在確率を変化させることで、所望の拡散光強度分布特性を得ることが可能である。

[0070] また、フィルムの場合ごとに異なる屈折率分布を有するグラジエントインデックス型光導波路が形成された場合であっても、同様に扱うことが可能である。

フィルム(2)では層内部での光の伝搬方向と層長さの存在確率により出射光の拡散光強度分布特性が決定される。上記例では入射光をトップハットの的な光強度分布で拡散させるために層長さの存在確率をトップハット型に分布するものとしたが、同様の物理法則に則った議論により層内部の屈折率分布および存在確率のいずれか一方または両方を変化させることで、トップハットの的なもの以外(例えば台形型、ガウス分布型等)の所望の拡散光強度分布特性を得ることが可能である。

[0071] なお、図5、図6の例では層傾き角度にばらつきを有さないフィルムを示したが、面内方向で層傾き角度をばらつかせ、フィルム(1)の場合と同様に層傾き角度存在確率を変化させることで、所望の拡散光強度分布特性を得ることが可能である。

また、図5、図6の例ではフィルム面を平面としたが、フィルム面が曲面である場合についても、曲面を微小な平面の集まりと考えることで同様に扱うことが可能である。

[0072] また、図5、図6の例では、隣り合う層が接触する場合を示したが、隣り合う層が多少離れている場合でも同様に扱うことができる。ただし、この場合は、入射光の一部は層内部を伝搬せずにフィルム(2)内部の屈折率一定( $n_g$ )の部分を進むため、直進透過光の割合が大きくなる。

また、図5、図6の例では一方の側のフィルム面を入射側としたが、その反対側のフ

フィルム面を入射側とした場合でも同様に扱うことができる。

- [0073] 次に、本発明(6)ないし(7)における拡散フィルム(フィルム(3)、フィルム(4)、フィルム(5))について説明する。これらは、フィルム(1)の構造とフィルム(2)の構造とが組合わさった構造を有する。

図12(a)はフィルム(3)の1例を示す模式図である。同図に示されるように、フィルム(3)53は、フィルム(1)と同じ構造の部分53<sub>1</sub>とフィルム(2)と同じ構造の部分53<sub>2</sub>とが、フィルム厚さ方向に混在する構造を有するものである。

- [0074] 図12(b)はフィルム(4)の1例を示す模式図である。同図に示されるように、フィルム(4)54は、フィルム(1)と同じ構造の部分54<sub>1</sub>とフィルム(2)と同じ構造の部分54<sub>2</sub>とが、フィルム面内方向に混在する構造を有するものである。

図12(c)はフィルム(5)の1例を示す模式図である。同図に示されるように、フィルム(5)55は、フィルム(1)の構造とフィルム(2)の構造とが融合してなる構造55<sub>A</sub>を有するものである。

- [0075] 図12に例示したいずれの拡散フィルムにおいても、それぞれフィルム(1)、フィルム(2)に分解して扱うことができ、入射光拡散角度領域はそれぞれのフィルムの重ね合せにより導かれる。

《本発明(8)～(16)について》

次に、本発明(8)～(16)について説明する。

- [0076] リアプロジェクションディスプレイシステム(略してリアプロ)では、システムを薄型にするために、例えば図33に示すように、光学エンジン(プロジェクタ)20をスクリーン10の下側に配置し、鏡など(ミラーM1、M3、非球面ミラーM2)によって光の方向を変え、スクリーン10の下側からスクリーン法線に対し斜め方向からの結像を用いている。よって、このままでは光のエネルギーの中心方向がスクリーン上側に向いた拡散特性となるため、従来、図32に示したようにプリズム30(プリズムシート)を用いて、光強度の中心方向をスクリーンの法線方向に向けるのが一般的である。

- [0077] しかし、プリズムシートを用いると、薄型リアプロの場合、屈折型と反射型を併用することによる特性のばらつきや、場所により異なるプリズム形状による製造の困難さがある。

これに対し、本発明では、従来のプリズムシートに代えて、図22に示すように、光導波路アレイをなす複数の層1がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に對し湾曲して延在する構造を有する光出射方向変換フィルム2を用いる。なお、3は入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムであり、この拡散フィルム3と光出射方向変換フィルム2とでスクリーン10が構成される。

- [0078] 光出射方向変換フィルム2内の光導波路1は、ステップインデックス型の光導波路、または、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型(例えばグラジエントインデックス型)の光導波路である。

図23は、湾曲した光導波路アレイがステップインデックス型である場合の光出射方向変換フィルムの例を示す模式図である。光導波路1をなす屈折率 $n_1$ の層(コア)1<sub>A</sub>と屈折率 $n_2$ の層(クラッド)1<sub>B</sub> ( $n_1 > n_2$ )がフィルム面内方向に互い違いに積層している。2<sub>X</sub>は残部(光導波路1以外のフィルム部分)である。層1<sub>A</sub>、1<sub>B</sub>の境界は、フィルム面の法線に対して入射側で $\theta_{\text{bend-in}}$ 、出射側で $\theta_{\text{bend-out}}$ の角度だけ傾いている。かかるステップインデックス型の光導波路では、コア1<sub>A</sub>に入射した光線8が層境界で全反射しつつコア1<sub>A</sub>内を光導波路1の曲がりに沿って伝播して、光強度の中心方向を $\theta_{\text{bend-out}}$ により決定される所望の方向(例えばフィルム面の法線方向)として出射するように設計することができる。

- [0079] 図25は、湾曲した光導波路アレイが層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型である場合の光出射方向変換フィルムの例を示す模式図である。層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する層1<sub>C</sub>がフィルム面内方向に積層して光導波路アレイをなしている。2<sub>X</sub>は残部(光導波路1以外のフィルム部分)である。層1<sub>C</sub>の境界は、フィルム面の法線に対して入射側で $\theta_{\text{bend-in}}$ 、出射側で $\theta_{\text{bend-out}}$ の角度だけ傾いている。かかる層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路では、層1<sub>C</sub>に入射した光線8が層境界間を振幅とする波形を描くように屈折しつつ層1<sub>C</sub>内を光導波路1の曲がりに沿って伝播して、光強度の中心方向を $\theta_{\text{bend-out}}$ により決定される所望の方向(例えばフィルム面の法線方向)として出射するように設計することができる。

[0080] 1枚の光出射方向変換フィルムには、ステップインデックス型、および、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型のうち、いずれか一型の光導波路のみが存在してもよく、また、両型の光導波路がフィルム面内方向、フィルム厚さ方向のいずれか一方または両方に混在してもよい。なお、図26にはステップインデックス型の光導波路アレイと、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路アレイとが、(a)フィルム厚さ方向に混在する例、および(b)フィルム面内方向に混在する例を示した。

[0081] なお、本発明(8)~(16)の開示中の図および解析では全て、フィルム中に層を形成しない残部2<sub>x</sub>を有する例を示しているが、これは光出射方向変換特性に直接寄与しない部分であり、残部2<sub>x</sub>がない構造、または片側だけに存在する構造であっても同様に光出射方向変換特性を発現する。この場合も以下に示す解析と同様に層内部における光の伝播を考え、出射時における残部2<sub>x</sub>での屈折を計算することで同様に扱うことが可能である。また図では残部2<sub>x</sub>は層厚み方向断面が三角形状であり、その一辺がフィルムの空気界面であるとしているが、上記と同様の理由によりこれ以外の構造(例えば残部2<sub>x</sub>が非常に大きくフィルムの厚み方向の一部において層の存在しない領域が存在する等)であっても同様に扱うことが可能である。

[0082] このように構成されたスクリーンでは、光学エンジンからの光を湾曲した光導波路内で反射あるいは屈折させながら、光強度の中心方向を $\theta_{\text{bend-out}}$ により決定される所望の方向(例えばスクリーン法線方向)へ向けることができる。これによれば、従来のプリズムシートのような、屈折型と反射型を併用することによる特性のばらつきや、場所により異なるプリズム形状による製造の困難さはなくなり、

6) 迷光による画像のゴーストが生じない、

7) 後方反射が少ない、

8) 光出射方向変換効率が低い、

9) 出射方向変換角度に限界を有さない、

10) 入射光の偏光が保持される、

という優れた特性を実現する光出射方向変換フィルムを実現することができる。

[0083] もっとも、光出射方向変換フィルムの出射角度領域が、拡散フィルムの入射光拡散

角度領域とマッチングしていないと、プロジェクタ光の一部が観察者の存在する方向に拡散されず、プロジェクタ光利用効率が低下することから、これらの角度領域はマッチングしていることが好ましく、少なくとも光出射方向変換フィルムの出射角度領域  $\theta_{out}$  の50%が拡散フィルム入射角度領域  $\theta_{bend-in}$  に含まれている必要がある。

[0084] また、光出射方向変換フィルムと組合わせて用いる拡散フィルムとしては、特に限定しないが、本発明(1)～(7)のいずれかに用いる拡散フィルムが好ましい。

また、上記光出射方向変換フィルムは、ステップインデックス型の光導波路の層傾き角度、および/または、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路の層長さを略トップハット型に分布させることにより、略トップハット型の拡散光強度特性をもたせた光出射方向変換拡散フィルムとすることができる。

[0085] この光出射方向変換拡散フィルムは、本発明(1)～(7)に用いる拡散フィルムにおいて、該拡散フィルム内の光導波路を湾曲させた形態のものに相当する。

1枚の光出射方向変換拡散フィルムには、ステップインデックス型、および、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型のうち、いずれか一型の光導波路のみが存在してもよく、また、両型の光導波路がフィルム面内方向、フィルム厚さ方向のいずれか一方または両方に混在してもよい。

[0086] また、1枚の光出射方向変換拡散フィルムは、上記両型の光導波路が融合した構造を有するものであってもよい。この構造は、層内の屈折率分布がステップインデックス型の屈折率分布関数と層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布関数とのいずれかであって、層傾き角度と層長さが共に略トップハット型のばらつき分布を有する湾曲層からなる構造である。

[0087] この光出射方向変換拡散フィルムは、入射光を光導波路内で曲げながら拡散させる機能をもつから、これを前記光出射方向変換フィルム(拡散機能のない光出射方向変換フィルム)の代わりに用いることにより、別段の拡散フィルムを用いる必要がなくなり、スクリーンをこの光出射方向変換拡散フィルムのみで構成することができる。

本発明(8)～(14)のスクリーンにおいて、光出射方向変換フィルムまたは光出射方向変換拡散フィルム内の光導波路をなす各層の厚さは、これが大きすぎると解像度の高い画像を伝播することができないため、一般的なプロジェクションディスプレイ投射

画像の画素の大きさから考えて、500  $\mu$ mよりも小さいことが望ましい。

- [0088] また、光出射方向変換フィルムまたは光出射方向変換拡散フィルムのフィルム面は平面に限定されず、曲面であってもよい。曲面の場合はこれを微小な平面の集まりと考えることで同様に扱うからである。

本発明(8)～(14)のスクリーンを用いてプロジェクションディスプレイシステム光学系を構成する場合、光学エンジンとの開口(=開口数; Numerical Aperture; 略号NA)のマッチングが重要である。光学エンジンのNAは、例えばリアプロジェクションディスプレイの場合について図22に示されるように、光学エンジン20のレンズの直径、焦点距離、結像倍率、結像位置によって決まるスクリーン後方からの入力光線の角度範囲を $2\theta_2$  ( $\equiv 2 \times \theta_2$ )とすると、 $NA = \sin \theta_2$ で定義される。

- [0089] なお、実際のプロジェクションディスプレイシステム光学系では、例えば図33に示されるように、光学エンジンとスクリーンとの間に反射鏡やレンズ等の光学素子が配置されている場合が多いが、その場合にはその光学系を、図22あるいは図27のように1枚のレンズのみを用いた光学的に等価な形態に変換した図において同様に定義される。

図27に示すように、直径d、焦点距離fのレンズの後方の距離aの位置に置いた長さ $S_1$ の物体(プロジェクションディスプレイにおいては例えば液晶、DMD等の画像表示パネル)21から出た光がレンズを通過してレンズ前方の、 $1/a + 1/b = 1/f$ を満たす距離bの位置に結像されたとすると、その像の長さ $S_2$ は、 $S_2/S_1 = b/a$ を満たし、かつ、レンズ中心軸から像の下端、上端までの距離をそれぞれ $l_1$ 、 $l_2$ 、レンズ上端と像下端、レンズ下端と像上端を結ぶ直線がそれぞれレンズ中心軸となす角度を $\theta_0$ 、 $\theta_1$ とすると、NAに対応する角度範囲 $2\theta_2$ は次式で表される。

$$[0090] \quad 2\theta_2 = \theta_1 - \theta_0 \quad \dots (0-1)$$

$$\tan \theta_1 = (l_2 + d/2)/b \quad \dots (0-2)$$

$$\tan \theta_0 = (l_1 - d/2)/b \quad \dots (0-3)$$

この角度範囲 $2\theta_2$ の光の全てを、湾曲した光導波路(以下、曲がり導波路という)で曲げることができなければ、スクリーンの光の利用効率が低下するだけでなく、曲がり導波路からもれた光は画像の解像度の低下につながる。よって、スクリーン後方から



の入力光線の角度範囲 $2\theta_2$ と、曲がり導波路のNAに対応する角度範囲とのマッチングは、プロジェクションディスプレイシステム光学系の設計上、極めて重要なものとなる。

[0091] そこで、曲がり導波路のNAの理論的導出について、以下に詳述する。

[ステップインデックス型の曲がり導波路のNA]

図28に、ステップインデックス光導波路曲線構造モデルを示す。曲がり導波路をなす屈折率 $n_1$ の層(コア) $1_A$ と、 $n_1$ よりも小さい屈折率 $n_2$ の層(クラッド) $1_B$ が互い違いに積層した構造である。コア $1_A$ について、厚さを $y_1$ 、曲率中心をO、内周側境界面の曲率半径を $r_0$ とする。モデルでは、入出力のNAを理解しやすくするために、光導波路の曲線構造部(C部)の入口と出口に微小長さ $\Delta z$ の直線構造部(L部)を付加した。光導波路の外部は屈折率 $n_{\text{air}}$ の空気層である。

[0092] 光線5、6はC部のコア $1_A$ を伝播できる光線のモードである。この二つのモードは、C部のコア $1_A$ のクラッド $1_B$ との外周側境界面(外周境界)で臨界角 $\theta_c$ 、C部のコア $1_A$ のクラッド $1_B$ との内周側境界面(内周境界)で $\theta_c + \theta_r$ で、全反射して伝播してゆくモードである。光線5はC部の入口と出口の外周境界において臨界角 $\theta_c$ で全反射し、光線6はC部の入口と出口の内周境界において $\theta_c + \theta_r$ で全反射して伝播する。

[0093] 光線5が外周境界の入口と出口でちょうど臨界角で全反射した場合、空気層へ出射する角は、図の $\theta_{\text{in}1}$ 、 $\theta_{\text{out}1}$ である。位置が少しずれた場合、出入口ちょうどの位置で全反射が起らないため、 $-\theta_{\text{in}1}$ 、 $-\theta_{\text{out}1}$ となる。よって、光線5のモードのNAは、 $\pm \theta_{\text{in}1}$ 、 $\pm \theta_{\text{out}1}$ で決まる。同様の議論を光線6のモードについて行くと、該モードのNAは、 $\pm \theta_{\text{in}2}$ 、 $\pm \theta_{\text{out}2}$ で決まるといえる。

[0094] ここで光線5に着目してみる。図では $+\theta_{\text{in}1}$ で入射してくる光線を描いているが、 $-\theta_{\text{in}1}$ で外周境界入口へ入射してくる光を考えてみる( $\Delta z$ は無限小)。外周境界入口へ入射したこの光はC部のコア内を伝播できるが、入射位置を外周境界から内周境界へ移動させると、内周境界において臨界角 $\theta_c$ で全反射してゆくことになり、外周境界に達した時には臨界角 $\theta_c$ より小さな角で外周境界へ入射し、光はもはや全反射せずクラッドへ屈折してしまう。よって、光線5において出入口の外周境界位置のNAは、 $\pm \theta_{\text{in}1} + \theta_c$ で決まるが、内周へ向かうにつれてNAは減少し、内周境

界位置では光線6のNAを決める角 $\pm \theta_{in2}$ 、 $\pm \theta_{out2}$ と一致する。よって、この曲線構造の導波路を安全に伝播できるNAは、光線6の角 $\pm \theta_{in2}$ 、 $\pm \theta_{out2}$ で決まるといえる。よって、スクリーン設計では、この角で議論する。

- [0095] 次に、図28より、この角 $\pm \theta_{in2}$ 、 $\pm \theta_{out2}$ の導出を行う。図25の $\triangle OAB$ に対し正弦定理を適用し、次式を得る。

$$r_0 / \sin \theta_c = (r_0 + y_1) / \sin \{ \pi - (\theta_c + \theta_r) \} \quad \cdots (1-1)$$

$\theta_c$ は臨界角であるので、コア、クラッドの屈折率 $n_1$ 、 $n_2$ を用い、次式を得る。

$$\theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1) \quad \cdots (1-2)$$

式(1-1)、(1-2)より、次式を得る。

$$[0096] \quad \theta_c + \theta_r = \sin^{-1} \{ (n_2/n_1) \times (1 + y_1/r_0) \} \quad \cdots (1-3)$$

よって、点Bで全反射している光線6の、空気層と光導波路との界面には、次式のスネル則が成立する。

$$n_{air} \times \sin \theta_{in2} = n_1 \times \sin \{ \pi/2 - (\theta_c + \theta_r) \} \quad \cdots (1-4)$$

式(1-3)、(1-4)より、 $\theta_{in2}$  ( $= \theta_{out2}$ )は次式で与えられる。

$$[0097] \quad \theta_{in2} = \theta_{out2} = \sin^{-1} \{ (n_1/n_{air}) \times \cos \{ \sin^{-1} \{ (n_2/n_1) \times (1 + y_1/r_0) \} \} \} \quad \cdots (1-5)$$

よって、図25に示すステップインデックス光導波路曲線構造モデルを入力位置によらず安全に伝播できる光の光軸に対する入出力角 $\theta_{NAstep}$ は、式(1-5)より、次式で与えられる。

$$[0098] \quad -\theta_{in2} (= -\theta_{out2}) \leq \theta_{NAstep} \leq +\theta_{in2} (= +\theta_{out2}) \quad \cdots (1-6)$$

次に、図28のモデルが、屈折率 $n$ のフィルムの中に形成された場合のNAを求める。出力側はフィルム面に垂直であるため、式(1-5)の $\pm \theta_{out2}$ が出力のNAを決める。

入力側は、図23、図25、図26での残部2相当の、屈折率 $n$ のプリズム(P部)が付加されることになる。このような状態を図29および図30に示す。図29ではC部の出入口の内周境界で全反射している光線6を、図30では全反射していない光線7を示した。また、理解しやすいように、図29のC部の出入口に長さ $\Delta z$ のL部を付加した。実際は $\Delta z \rightarrow 0$ と考えてよい。

- [0099] まず、図29の $\theta_{in4}$ は、光線6について空気層とP部との境界面にスネル則を適用し、次式で表される。

$$n_{\text{air}} \times \sin(-\theta_{\text{in4}}) = n_g \times \sin(\theta_{\text{bend}} - \theta_{\text{in3}}) \cdots (1-7)$$

$\theta_{\text{in3}}$  は、図28において  $n_{\text{air}}$  に代えて  $n_g$  とした場合の  $\theta_{\text{in2}}$  に相当するので、式(1-5)の  $n_{\text{air}}$  を  $n_g$  に変えることにより、次式で表される。

$$[0100] \quad \theta_{\text{in3}} = \sin^{-1}[(n_1/n_g) \times \cos\{\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (1+y_1/r_0))\}] \cdots (1-8)$$

式(1-7),(1-8)より、次式が得られる。

$$-\theta_{\text{in4}} = \sin^{-1}[(n_g/n_{\text{air}}) \times \sin\{-\sin^{-1}((n_1/n_g) \times \cos(\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (1+y_1/r_0)))) + \theta_{\text{bend}}\}] \cdots (1-9)$$

次に、図30の  $\theta_{\text{in5}}$  を求める。これは、式(1-7),(1-9)の  $\theta_{\text{bend}}$  の前の符号を変えればよいので、式(1-7),(1-9)に対し、次の二式が成立する。

$$[0101] \quad n_{\text{air}} \times \sin(-\theta_{\text{in5}}) = n_g \times \sin(\theta_{\text{bend}} - \theta_{\text{in3}}) \cdots (1-10)$$

$$\theta_{\text{in5}} = \sin^{-1}[(n_g/n_{\text{air}}) \times \sin\{\sin^{-1}((n_1/n_g) \times \cos(\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (1+y_1/r_0)))) + \theta_{\text{bend}}\}] \cdots (1-11)$$

よって、まとめると、ステップインデックス光導波路曲線構造モデルフィルムの入射側のNAを決める角  $\theta_{\text{NAstepin}}$  と出射側のNAを決める角  $\theta_{\text{NAstepout}}$  は、次の二式で与えられる。

$$[0102] \quad \theta_{\text{in4}} \leq \theta_{\text{NAstepin}} \leq \theta_{\text{in5}} \cdots (1-12)$$

$$-\theta_{\text{out2}} \leq \theta_{\text{NAstepout}} \leq \theta_{\text{out2}} \cdots (1-13)$$

一方、図29、図30より、 $-\theta_{\text{in4}} \geq -90^\circ$ 、 $\theta_{\text{in5}} \leq 90^\circ$  であるから、式(1-9),(1-11)より、入射側の層傾き角度  $\theta_{\text{bend-in}}$  ( $\theta_{\text{bend}}$  と記す)の条件は次式で表される。

$$|\theta_{\text{bend-in}}| \leq -\sin^{-1}[(n_1/n_g) \times \cos\{\sin^{-1}((n_2/n_1) \times (2 \times R_{\text{in}} + y_1)/(2 \times R_{\text{in}} - y_1))\}] + \sin^{-1}(n_{\text{air}}/n_g) \cdots (1-14)$$

ここで、 $R_{\text{in}}$  は入射面付近のコア厚さ中心部の曲率半径( $=r_0 + y_1/2$ )である。

[0103] ところで、図28において、 $|\theta_{\text{c}} + \theta_{\text{r}}| \geq \pi/2$  であると、光線5が内周境界で全反射することができないから、 $|\theta_{\text{c}} + \theta_{\text{r}}| \leq \pi/2$  がモデルの前提条件であり、この条件と式(1-3)とから、 $r_0 \leq n_2/(n_1 - n_2) \times y_1$  である。よって、曲がり導波路のコア厚さ中心部の曲率半径は、次式で与えられる最小曲率半径  $R_{\text{minstep}}$  以上とする必要がある。

$$[0104] \quad R = n/(n - n_2) \times y_1 + y_1/2 = (n + n_2)/(n - n_2) \times (y_1/2) \cdots (1-16)$$

以上より、ステップインデックス型の曲がり導波路では、入射角度領域( $\theta_{in-min} \sim \theta_{in-max}$ )内の一入射角で曲がり導波路に入射した光は、その伝播方向を曲がり導波路内で徐々に変化させ、出射角度領域( $\theta_{out-min} \sim \theta_{out-max}$ )内の一射出角で出射する。ここに、 $\theta_{in-min}$ ,  $\theta_{in-max}$ ,  $\theta_{out-min}$ ,  $\theta_{out-max}$  は、次式で与えられる。

[0105] [数4]

$$\theta_{in-min} = \sin^{-1} \left[ \frac{n_g}{n_{air}} \sin \left\{ -\sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_g} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{2R_{in} + y_1}{2R_{in} - y_1} \right) \right) \right) + \theta_{bend-in} \right\} \right] \quad \dots(1-17)$$

$$\theta_{in-max} = \sin^{-1} \left[ \frac{n_g}{n_{air}} \sin \left\{ \sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_g} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{2R_{in} + y_1}{2R_{in} - y_1} \right) \right) \right) + \theta_{bend-in} \right\} \right] \quad \dots(1-18)$$

$$\theta_{out-min} = \sin^{-1} \left[ \frac{n_g}{n_{air}} \sin \left\{ -\sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_g} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{2R_{out} + y_1}{2R_{out} - y_1} \right) \right) \right) + \theta_{bend-out} \right\} \right] \quad \dots(1-19)$$

$$\theta_{out-max} = \sin^{-1} \left[ \frac{n_g}{n_{air}} \sin \left\{ \sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_g} \cos \left( \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{2R_{out} + y_1}{2R_{out} - y_1} \right) \right) \right) + \theta_{bend-out} \right\} \right] \quad \dots(1-20)$$

[0106] 上記図28～図30のモデルは、全ての光路に対する導波路入口から出口までのそれぞれの層境界を角度に急激な変化がない曲線であるとしている。この場合、入射光は拡散されず出射方向のみが変換される。一方、本発明では、前記層境界を角度が急激に変化する曲線であるとしてもでき、その場合、入射光の反射方向を層内部で変化させ、入射光の進行方向を変換しつつ拡散させることが可能である。なお本発明において特に説明なく「曲率半径を場所によりばらつかせ入射光を拡散させる」とした場合には層傾き角度が急激に変化する曲線である場合を指し、層傾き角度の急激な変化とは少なくとも0.01deg./ $\mu m$ 以上の層傾き角度の変化である。

[グラジエントインデックス型の曲がり導波路のNA]

本発明者らの理論解析によれば、グラジエントインデックス型の曲がり導波路の曲線を折れ線で近似したとき、その近似による曲率半径の誤差は、曲がり導波路の幅(層厚さ)中心部の屈折率が一般的な光導波路のコア値と近い1.55のとき、高々1.3%程度と小さい。よって、以下では、折れ線近似モデルを用いてNAの導出を行う。

[0107] 折れ線近似モデルにおける直線部は、図34に示すような、層厚さ方向の屈折率分

女がりの曲線。

$$n(r) = n_1 \times (1 - A/2 \times r^2) \quad \dots (2-1)$$

で表される直線型グラジエントインデックス光導波路4である。ここで、 $r$ は層厚さ中心からの距離、 $n_1$ は中心軸上の屈折率である。 $A$ は屈折率分布定数であり、 $n_1$ 、層厚さ $y_1$ 、層厚さ端の屈折率 $n_2$ により、次式で表される。

$$[0108] \quad A = (8/y_1^2) \times (n_1 - n_2)/n_1 \quad \dots (2-2)$$

図示のように導波路の長さを $z$ 、入力光線、出力光線の位置を $r_1$ 、 $r_2$ 、各位置での導波路内での光線の方角を $r_1^* = dr_1/dz = \tan \theta_{in}$ 、 $r_2^* = dr_2/dz = \tan \theta_{out}$ とすると、入力光線、出力光線の位置と方向を表すベクトル $[r_1, r_1^*]$ 、 $[r_2, r_2^*]$ の間には次式が成り立つ。

[0109] [数5]

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ r_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\sqrt{A}z) & \frac{\sin(\sqrt{A}z)}{n_1\sqrt{A}} \\ -n_1\sqrt{A}\sin(\sqrt{A}z) & \cos(\sqrt{A}z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_1^* \end{bmatrix} \quad \dots (2-3)$$

[0110] 式(2-3)において、 $2 \times 2$ の行列項が単位行列の場合、入力光線と出力光線とで[位置, 方向]ベクトルが同じとなる。このときの長さ $z$ の最小解は導波路のピッチ $P$ とよばれ、行列項の要素がサイン、コサインの関数であることから、次式で表される。

$$P = 2 \times \pi / \sqrt{A} \quad \dots (2-4)$$

この直線型グラジエントインデックス光導波路のNAを決める角度は、該導波路を伝播できる光線と光軸( $z$ 軸)との角度のうち最大の角度で与えられる。この最大の角度

は、図35に示すように、導波路の長さが $P/4$ 、入力光線、出力光線の[位置, 方向]ベクトルが $[\pm y_1/2, 0]$ 、 $[0, r_2^*]$ である場合における出力光線と光軸との角度 $\theta_{NA0}$  (

$y$ が+のとき負、-のとき正)に相当する。この角度 $\theta_{NA0}$ は、式(2-3)に $r_1 = 0$ 、 $r_1^* = y_1/2$ 、 $r_2^* = 0$ 、 $z = P/4 = \pi/(2 \times \sqrt{A})$ を代入し、 $r_2^* (= \tan \theta_{NA0})$ について解くことで、次式で表される。

$$[0111] \quad \theta_{NA0} = \tan^{-1}(n_1 \times \sqrt{A} \times y_1/2) \quad \dots (2-5)$$

図36に折れ線近似モデルを示す。これは、上述の直線型グラジエントインデックス

光導波路が、長さ $P/2$ の位置で角度 $\theta_{NA0}/n$  ( $n$ は0.5以上の実数)だけ折れ曲がり、さらに光軸方向に $P/2$ だけ進んだ位置でまた $\theta_{NA0}/n$ だけ折れ曲がる構造が繰り返される折れ線型グラジエントインデックス光導波路によりグラジエントインデックス型の曲がり導波路を近似したものである。図中の光線15, 16, 17, 18はこの折れ線型光導波路を伝播できる代表的な光線のモードを示している。なお、 $n$ が0.5未満の場合は、光が導波路外へ出てしまうため、モデルの対象から除外する。

- [0112] 光線17は1番目の直線型グラジエントインデックス光導波路 $4_1$  (以下、光導波路 $4_1$  という)の光軸と平行に光軸の位置に入射した光で、この光は光導波路 $4_1$ 内を直進し、 $P/2$ 進んだ位置で $-\theta_{NA0}/n$ だけ傾いた2番目の直線型グラジエントインデックス光導波路 $4_2$  (以下、光導波路 $4_2$  という)へ入射することになる。よって、光導波路 $4_2$ への入射角は $\theta_{NA0}/n$ となる。各直線型グラジエントインデックス光導波路の長さは $P/2$ であるので、光導波路 $4_2$ の出射角は、光導波路 $4_2$ の光軸に対して $-\theta_{NA0}/n$ となる。3番目の直線型グラジエントインデックス光導波路 $4_3$  (以下、光導波路 $4_3$  という)は、2番目に対して $-\theta_{NA0}/n$ だけ傾いているため、光導波路 $4_3$ への光線7の入射角は $0^\circ$ となり、光線17は光導波路 $4_3$ 内を直進することになる。つまり、光線17は奇数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内を直進し、偶数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内では光軸に対する入射角: $+\theta_{NA0}/n$ から出射角: $-\theta_{NA0}/n$ まで進行方向を変えて曲がってゆくことになる。一方、光線16は、光線17の奇数番目と偶数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内の状態を入れ替えたモードを示している。

- [0113] この折れ線型グラジエントインデックス光導波路のNAを決める光線は、光線15と光線18である。

光線15は光導波路 $4_1$ を伝播できる最大入射角の光線である。よって、光導波路 $4_1$ への、導波路内への入射角は $\theta_{NA0}$ である。各直線型グラジエントインデックス光導波路の長さは $P/2$ であるので、光線15の光導波路 $4_1$ の出射角は $-\theta_{NA0}$ となる。光導波路 $4_2$ は光導波路 $4_1$ に対し $-\theta_{NA0}/n$ だけ傾いているため、光線15の、光導波路 $4_2$ の光軸に対する入射角は、 $-(1-1/n) \times \theta_{NA0}$ となる。この入射角の絶対値: $|(1-1/n) \times \theta_{NA0}|$ は $\theta_{NA0}$ より小さいため、光線15は光導波路 $4_2$ 内を伝播できる。光導波路 $4_3$

の長さも $P/2$ であるので、光導波路 $4_2$ の光軸に対する出射角は、 $(1-1/n) \times \theta_{NA0}$ となる。次番目の光導波路 $4_3$ は、光導波路 $4_2$ に対して $-\theta_{NA0}/n$ だけ傾いているため、光導波路 $4_3$ に対する光線15の入射角は $\theta_{NA0}$ となり、光導波路 $4_1$ 内の光の伝播状態と同じになる。よって、光線15は、奇数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内では入射角： $\theta_{NA0}$ から出射角： $-\theta_{NA0}$ へ方向を変え、偶数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内では入射角： $-(1-1/n) \times \theta_{NA0}$ から出射角： $(1-1/n) \times \theta_{NA0}$ へ方向を変え、伝播してゆくモードである。つまり、光線15で示したモードは、奇数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内で伝播できる最大の入射角となっているモードである。一方、光線18は、光線15の奇数番目と偶数番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内の状態を入れ替えたモードを示している。よって、この折れ線型グラジエントインデックス光導波路のNAは、光線15の入射角および出射角と、光線18の入射角および出射角の間の角によって決定される。

[0114] そこで次に、このNAを求める。折れ線モデルを構成している直線型グラジエントインデックス光導波路の数を自然数 $k$ とすると、 $k$ 番目の直線型グラジエントインデックス光導波路の光軸は、1番目のそれに対し、次式で表される角 $\theta_{bend}$ だけ曲がっていることになる。

$$\theta_{bend} = -(k-1) \times \theta_{NA0} / n \quad \dots (2-6)$$

$k$ 番目の直線型グラジエントインデックス光導波路内の出射側NAを決める角 $\theta_{NA0}$  ( $k$ )は、図36より、次式で表される。

$$[0115] \quad \theta_{bend} - \theta_{NA0} \leq \theta_{NA0} (k) \leq \theta_{bend} + (1-1/n) \times \theta_{NA0} \quad \dots (2-7)$$

式(2-7)に式(2-6)を代入し、次式を得る。

$$-\theta_{NA0} / n \times (k+n-1) \leq \theta_{NA0} (k) \leq -\theta_{NA0} / n \times (k-n) \quad (2-8)$$

式(2-6)、(2-7)、(2-8)によって表される角の中に自然数 $k$ があるため、離散的な角度定義となっているが、図36の折れ線近似モデルは、実際のフィルム内に存在する曲がり導波路の近似であり、図36の折れ線近似モデルの曲率中心でモデルをモデル全体を連続的に回転しても、モデルのNAは変化せず、NAは曲率半径と、式(2-1)で表される屈折率分布関数 $n(r)$ によって決まる。よって、式(2-7)中の $\theta_{bend}$ は、離散的な値でなく、連続的な値として扱ってよい。 $\theta_{bend}$ を連続的な値とした場合の折れ線近

似モデルの光導波路内のNAを決める角  $\theta_{NA1}$  は次式で与えられる。

$$[0116] \quad \theta_{bend} - \theta_{NA0} \leq \theta_{NA1} \leq \theta_{bend} + (1 - 1/n) \times \theta_{NA0} \quad \dots (2-9)$$

図36のモデルがフィルム中に形成された場合、右側の出射部に図37に示すように、図23、図25、図26での残部2<sub>X</sub>相当の、屈折率 $n_g$ 、頂角 $\theta_{bend}$ のプリズム(P部)が付け加えられることになる。

光線18について、光導波路4<sub>4</sub>出射端とP部との界面、およびP部と空気層(屈折率 $n_{air}$ )との界面にスネル則を適用すると、次の二式が得られる。

$$[0117] \quad n_1 \times \sin \theta_{NA0} = n_g \times \sin \theta_{ng1} \quad \dots (2-10)$$

$$n_g \times \sin(\theta_{bend} + \theta_{ng1}) = n_{air} \times \sin \theta_{out1} \quad \dots (2-11)$$

式(2-10)、(2-11)より、 $\theta_{out1}$  は次式で与えられる。

$$\theta_{out1} = \sin^{-1}[n_g/n_{air} \times \sin\{\theta_{bend} + \sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin \theta_{NA0})\}] \quad \dots (2-12)$$

同様の解析を光線15について行くと、以下の二式が得られる。

$$[0118] \quad n_1 \times \sin\{(1 - 1/n) \times \theta_{NA0}\} = n_g \times \sin \theta_{ng2} \quad \dots (2-13)$$

$$n_g \times \sin(\theta_{bend} - \theta_{ng2}) = n_{air} \times \sin \theta_{out2} \quad \dots (2-14)$$

式(2-13)、(2-14)より、 $\theta_{out2}$  は次式で与えられる。

$$\theta_{out2} = \sin^{-1}[n_g/n_{air} \times \sin\{\theta_{bend} - \sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin((1 - 1/n) \times \theta_{NA0}))\}] \quad \dots (2-15)$$

式(2-12)、(2-15)より、出射側のNAは、次式の $\theta_{NAout}$ によって決まる。

$$[0119] \quad -\theta_{out2} \leq \theta_{NAout} \leq -\theta_{out1} \quad \dots (2-16)$$

入射側のNAは、式(2-12)、(2-15)の $\theta_{bend} = 0^\circ$ とし、式(2-12)の $\theta_{out1}$ を $\theta_{in1}$ に変え、(2-15)式の $\theta_{out2}$ を $\theta_{in2}$ に変えて得られる次の二式を用いて記述される。

$$\theta_{in1} = \sin^{-1}(n_1/n_{air} \times \sin \theta_{NA0}) \quad \dots (2-17)$$

$$\theta_{in2} = -\sin^{-1}[n_g/n_{air} \times \sin((1 - 1/n) \times \theta_{NA0})] \quad \dots (2-18)$$

式(2-17)、(2-18)より、入射側のNAは、次式の $\theta_{NAin}$ によって決まる。

$$[0120] \quad \theta_{in2} \leq \theta_{NAin} \leq \theta_{in1} \quad \dots (2-19)$$

図36のモデルでは、光の入出力角度が図22のリアプロジェクションディスプレイシステムと逆になっているが、式(2-12)、(2-15)、(2-16)において角度 $\theta$ の添え字のoutをinに変えれば入力側の角度が図22のシステムと合う以下の三式が成立する。

$$\theta_{in1} = \sin^{-1}[n_g/n_{air} \times \sin\{\theta_{bend} + \sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin \theta_{NA0})\}] \quad \dots (2-12A)$$



$$\theta_{in2} = \sin^{-1} \left[ n_g / n_{air} \times \sin \{ \theta_{bend} - \sin^{-1} (n_1 / n_g \times \sin((1 - 1/n) \times \theta_{NA0})) \} \right] \quad \dots (2-15A)$$

$$\theta_{in2} \leq \theta_{NAin} \leq \theta_{in1} \quad \dots (2-16A)$$

出射側に関しては、式(2-17)、(2-18)、(2-19)より、図22のシステムに合わせた以下の三式が成立する。

$$[0121] \quad \theta_{out1} = -\sin^{-1} (n_1 / n_{air} \times \sin \theta_{NA0}) \quad \dots (2-17A)$$

$$\theta_{out2} = \sin^{-1} \{ n_1 / n_{air} \times \sin((1 - 1/n) \times \theta_{NA0}) \} \quad \dots (2-18A)$$

$$\theta_{out1} \leq \theta_{NAout} \leq \theta_{out2} \quad \dots (2-19A)$$

式(2-19A)は、光導波路の光軸をスクリーン法線方向まで曲げてしまうと、上下非対称な出射側NAとなることを意味する。そこで、次に、出射側で上下対称なNAを発現させるための、出射側の光導波路の光軸の角度  $\theta_{axis}$  を解析により求める。

[0122] 図38は、出射側最後の光導波路(直線型グラジエントインデックス光導波路)4<sub>L</sub>が光軸の角度  $\theta_{axis}$  で終わっている部分を描いている。出力NAは、光線15、18の間の角で決まる。よって、図で  $\theta_{out3} = \theta_{out4}$  となるとき  $\theta_{axis}$  が求める光軸の角度である。

$\theta_{out3}$  は、光線18について光導波路出射面とP部との界面で成立する式(2-20)およびP部と空気層との界面で成立する式(2-21)より、式(2-22)で表される。

$$[0123] \quad n_1 \times \sin \theta_{NA0} = n_g \times \sin \theta_{ng3} \quad \dots (2-20)$$

$$n_g \times \sin(\theta_{ng3} - \theta_{axis}) = n_{air} \times \sin \theta_{out3} \quad \dots (2-21)$$

$$\theta_{out3} = \sin^{-1} \left[ n_g / n_{air} \times \sin \{ \sin^{-1} (n_1 / n_g \times \sin \theta_{NA0}) - \theta_{axis} \} \right] \quad \dots (2-22)$$

$\theta_{out4}$  は、光線15について光導波路出射面とP部との界面で成立する式(2-23)およびP部と空気層との界面で成立する式(2-24)より、式(2-25)で表される。

$$[0124] \quad n_1 \times \sin((1 - 1/n) \times \theta_{NA0}) = n_g \times \sin \theta_{ng4} \quad (2-23)$$

$$n_g \times \sin(\theta_{ng4} + \theta_{axis}) = n_{air} \times \sin \theta_{out4} \quad (2-24)$$

$$\theta_{out4} = \sin^{-1} \left[ n_g / n_{air} \times \sin \{ \sin^{-1} (n_1 / n_g \times \sin((1 - 1/n) \times \theta_{NA0})) + \theta_{axis} \} \right] \quad \dots (2-25)$$

よって、式(2-22)と式(2-25)を等置することにより、求める  $\theta_{axis}$  は、次式で表される。

$$[0125] \quad \theta_{axis} = 1/2 \times [\sin^{-1} (n_1 / n_g \times \sin \theta_{NA0}) - \sin^{-1} (n_1 / n_g \times \sin((1 - 1/n) \times \theta_{NA0}))] \quad \dots (2-26)$$

式(2-26)の成立下での出射側NAを決める角は 式(2-26)を式(2-22)または式(2-25)

5)に代入することにより、次式で表される。なお、求める角を $\theta'_{out3} = \theta'_{out4}$ とした。

$$\theta'_{out3} = \theta'_{out4} = \sin^{-1} \left[ \frac{n_g}{n_{air}} \times \sin \left( \frac{1}{2} \times \sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_g} \times \sin \left( (1 - 1/n) \times \theta_{NA0} \right) \right) + \frac{1}{2} \times \sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_g} \times \sin \theta_{NA0} \right) \right) \right] \quad \dots (2-27)$$

よって、求める上下対称出射側NAを決める角は、式(2-27)より次式となる。

$$[0126] \quad -\theta'_{out3} \leq \theta_{NAout} \leq \theta'_{out3} \quad \dots (2-28)$$

次に、このモデルの曲率半径の導出を行う。図39に示すように、この折れ線近似モデルでは、直線型グラジエントインデックス光導波路 $4_1, 4_2, 4_3, \dots$ の長さ $P/2$ の各線分の垂直二等分線の交点Oを曲率中心とし、曲率中心Oから各光導波路 $4_1, 4_2, 4_3, \dots$ の長さおよび厚さの中心点までの距離を曲率半径 $R$ (同図より、 $R = r_0 + y_1/2$ )とする。同図において、頂角 $\theta_{NA0}/(2 \times n)$ の直角三角形に着目すると、次式が成立する。

$$[0127] \quad \tan(\theta_{NA0}/(2 \times n)) = (P/4)/(r_0 + y_1/2) \quad \dots (2-29)$$

式(2-29)より曲率半径 $R$ は次式で与えられる。

$$R = r_0 + y_1/2 = (P/4)/\tan(\theta_{NA0}/(2 \times n)) \quad \dots (2-30)$$

すなわち、折れ線近似モデルの構成要素である直線型グラジエントインデックス光導波路の $\theta_{NA0}$ と $P$ を決め、折れる角度(曲がり具合)を決める $n$ (0.5以上の実数)を決めると、式(2-30)により曲率半径が決定する。最小曲率半径 $R_{min}$ は、 $n=0.5$ の場合であり、式(2-30)に $n=0.5$ を代入した式と、式(2-4),(2-5)とから、次式で与えられる。

$$[0128] \quad R_{min} = \pi/(n_1 \times A \times y_1) \quad \dots (2-31)$$

この場合に折れ線近似モデルの誤差が最大となる。一方、詳細な導出過程の説明は割愛するが、同じ厚さと屈折率分布を有する滑らかに曲がったグラジエントインデックス型光導波路(曲線構造モデル)の最小曲率半径 $R_{min}$ は、次式で与えられる。

$$R_{min} = 2/(A \times y_1) \quad (2-32)$$

式(2-31),(2-32)より、 $R_{min}$ (厳密解相当)と $R_{min}$ (近似解相当)との誤差ファクタは $\pi/(2 \times n_1)$ であり、これに一般的な光導波路のコア値に近い $n_1 = 1.55$ を代入すると、この誤差ファクタの値は1.0134である。よって、厳密解に対する近似解の誤差は高々1.3%以内であり、折れ線近似モデルは、曲線構造モデルの十分に良い近似である。

といえる。

[0129] ところで、光の入射角はフィルム面の法線に対し $-90^\circ \sim 90^\circ$ の範囲内にあるから、式(2-16A)において、 $\theta_{in2} \geq -90^\circ$ 、 $\theta_{in1} \leq 90^\circ$ であり、この制約と式(2-12A),(2-15A)とから、入射面付近の層傾き角度 $\theta_{bend-in}$ の条件は、入射面付近での層曲率半径 $R_{in}$ 、層内部での伝播角度 $\theta_{NA0}$ および光伝播のピッチPを用いて、以下のように表される。

$$[0130] \quad \theta_{bend-in-min} \leq \theta_{bend-in} \leq \theta_{bend-in-max} \quad \dots (2-33)$$

$$\theta_{bend-in-min} = \sin^{-1}\{n_1/n_g \times \sin(\theta_{NA0} - 2 \times \tan^{-1}(P/(4 \times R_{in})))\} - \sin^{-1}(n_{air}/n_g) \quad \dots (2-34)$$

$$\theta_{bend-in-max} = -\sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin \theta_{NA0}) + \sin^{-1}(n_{air}/n_g) \quad \dots (2-35)$$

また、光の出射角もフィルム面の法線に対し $-90^\circ \sim 90^\circ$ の範囲内にあるから、式(2-16)において、 $\theta_{out2} \geq -90^\circ$ 、 $\theta_{out1} \leq 90^\circ$ であり、この制約と式(2-12),(2-15)とから、入射面付近の層傾き角度 $\theta_{bend-out}$ の条件は、入射面付近での層曲率半径 $R_{out}$ 、層内部での伝播角度 $\theta_{NA0}$ および光伝播のピッチPを用いて、以下のように表される。

$$[0131] \quad -\theta_{bend-out-min} \leq \theta_{bend-out} \leq -\theta_{bend-out-max} \quad \dots (2-36)$$

$$\theta_{bend-out-min} = \sin^{-1}\{n_1/n_g \times \sin(\theta_{NA0} - 2 \times \tan^{-1}(P/(4 \times R_{out})))\} - \sin^{-1}(n_{air}/n_g) \quad \dots (2-37)$$

$$\theta_{bend-out-max} = -\sin^{-1}(n_1/n_g \times \sin \theta_{NA0}) + \sin^{-1}(n_{air}/n_g) \quad \dots (2-38)$$

また、フィルム内の層の曲率半径は、式(2-32)の値が下限となる。

[0132] 以上より、グラジエントインデックス型の曲がり導波路では、入射角度領域( $\theta_{in-min} \sim \theta_{in-max}$ )内の一入射角で曲がり導波路に入射した光は、その伝播方向を曲がり導波路内で徐々に変化させ、出射角度領域( $\theta_{out-min} \sim \theta_{out-max}$ )内の一入射角で出射する。ここに、 $\theta_{in-min}$ 、 $\theta_{in-max}$ 、 $\theta_{out-min}$ 、 $\theta_{out-max}$ は、次式で与えられる。

[0133] [数6]

$$\theta_{in-min} = \sin^{-1} \left[ \frac{n_g}{n_{air}} \sin \left\{ -\sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_g} \sin \left( \theta_{NA0} - 2 \tan^{-1} \frac{P}{4R_{in}} \right) \right) + \theta_{bend-in} \right\} \right] \quad \dots(2-39)$$

$$\theta_{in-max} = \sin^{-1} \left[ \frac{n_g}{n_{air}} \sin \left\{ \theta_{bend-in} + \sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_g} \sin \theta_{NA0} \right) \right\} \right] \quad \dots(2-40)$$

$$\theta_{out-min} = \sin^{-1} \left[ \frac{n_g}{n_{air}} \sin \left\{ -\sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_g} \sin \left( \theta_{NA0} - 2 \tan^{-1} \frac{P}{4R_{out}} \right) \right) + \theta_{bend-out} \right\} \right] \quad \dots(2-41)$$

$$\theta_{out-max} = \sin^{-1} \left[ \frac{n_g}{n_{air}} \sin \left\{ \theta_{bend-out} + \sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_g} \sin \theta_{NA0} \right) \right\} \right] \quad \dots(2-42)$$

[0134] 上記図34～39のモデルでは、複数の層の長さが等しい場合を想定している。この場合、入射光は拡散されず出射方向のみ変換される。一方、本発明では、層の長さを層ごとにばらつかせることもでき、その場合、層出射時の出射方向を層ごとに変化させることで、入射光の変換方向を変換しつつ拡散させることが可能である。

また、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路は、グラジエントインデックス型のような放物線型の屈折率分布をもつもの以外にも、例えば図40に示すような略台形型の屈折率分布をもつもの等、多種多様に存在しうるが、いずれも入射光を層内部に留めて伝播させうるものである以上、グラジエントインデックス型と同様の出射方向変換特性を得ることが可能である。

[0135] ここでステップインデックス型、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型ともに、曲率半径は導波路入口から出口まで一定である必要はなく、導波路の平均的傾き角度が0.01deg./ $\mu$ m未満と緩やかに変化している場合においても同様の光出射方向変換効果を得ることが可能である。ステップインデックス型において層傾き角度が0.01deg./ $\mu$ m以上と急激に変化した場合については前述のとおりステップインデックス型の光出射方向変換拡散フィルムとなり、また、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型において層傾き角度が0.01deg./ $\mu$ m以上と急激に変化した場合については後述の「ステップインデックス型と層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型とが融合した構造」を有する光出射方向変換拡散フィルムとなる。

[0136] なお、図23に示すステップインデックス型、図25に示す層厚さ方向に集光能力を

発現する屈折率分布を有する型ともに、図では隣り合う層が接触しているが、隣り合う層が多少離れていても上記と同様に扱うことができる。ただしこの場合は出射方向変換効率が多少低下するものと考えられる。

また、光出射方向変換フィルムに関して、ステップインデックス型の光導波路アレイと、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路アレイとが厚さ方向に混在する場合(図26-a)、または、光出射方向変換拡散フィルムに関して、ステップインデックス型の光導波路アレイと、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路アレイとが面内方向に混在する場合(図26-b)もしくは両型が融合した構造の光導波路アレイの場合についての入射角度領域と出射角度領域は、それぞれの型について導出したものを重ね合わせるにより求めることができる。

[光学エンジンとのNAマッチング]

次に、本発明のスクリーンをなす光出射方向変換フィルムまたは光出射方向変換拡散フィルムと光学エンジンとのNAマッチングについて説明する。

[0137] スクリーン開口角度  $\theta_s$  は、スクリーン最小開口角度  $\theta_{s-\min}$  とスクリーン最大開口角度  $\theta_{s-\max}$  を用いて、 $\theta_s \equiv \theta_{s-\max} - \theta_{s-\min}$  と定義される。光学エンジンのNAとのマッチングをとってプロジェクタ光出射方向を観察者の方向に変換するためには、 $\theta_s$  は、図22、図27における  $2\theta_2$  以上でなければならない。すなわち、その条件は前述の式(0-1),(0-2),(0-3)より、以下のように表される。

[0138]  $\theta_s \geq \tan^{-1}\{(l_2 + d/2)/b\} - \tan^{-1}\{(l_2 - d/2)/b\} \quad \dots (0-4)$

ここで、等号の場合がマッチングした状態に該当する。上記  $\theta_{s-\min}$  および  $\theta_{s-\max}$  はそれぞれ本発明フィルムの入射角度領域の下限  $\theta_{in-\min}$  および上限  $\theta_{in-\max}$  に等しい。これらは、ステップインデックス型の場合、式(1-17),(1-18)で与えられ、グラジエントインデックス型の場合、式(2-39),(2-40)で与えられる。

[0139] また、ステップインデックス型の光導波路アレイと、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路アレイとが混在する場合は、上記  $\theta_{s-\max}$  として両型の入射角度領域の上限のうち小さい方を採用し、一方、上記  $\theta_{s-\min}$  としては両型の下限のうち大きい方を採用するのがよい。すなわち、ステップインデックス型の光導波

路の入射角度領域の下限、上限を  $\theta_{\text{STEPin-min}}$ 、 $\theta_{\text{STEPin-max}}$  とし、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路の入射角度領域の下限、上限を  $\theta_{\text{Din-min}}$ 、 $\theta_{\text{GRADin-max}}$  とすると、次式を満足するように設計するのが望ましい。

$$[0140] \quad \text{Min}\{\theta_{\text{STEPin-max}}, \theta_{\text{GRADin-max}}\} - \text{Max}\{\theta_{\text{STEPin-min}}, \theta_{\text{GRADin-min}}\} \geq \tan^{-1}\{(1_2 + d/2)/b\} - \tan^{-1}\{(1_2 - d/2)/b\} \quad \dots (0-5)$$

以上の議論はプロジェクタ光を有効に利用する理想的なものであるが、実際のリアプロジェクションディスプレイにおいても開口数NAで光学エンジンから出射した光の少なくとも50%以上が  $\theta_{\text{min}}$  ～  $\theta_{\text{max}}$  の範囲からスクリーンに入射しなければならない。  
《本発明に用いるフィルムの製造方法について》

次に、本発明(1)～(7)に用いる拡散フィルムの製造方法について述べる。

[0141] この拡散フィルムは、異なる屈折率を有する少なくとも2種類の光重合可能なモノマーあるいはオリゴマーからなる混合物に2方向以上の方向から光を照射し硬化させることで得られる。この光の照射条件は、本発明の要件が満たされる適正条件とするが、この適正条件は実験で決定される。

ここで、光重合可能なモノマーあるいはオリゴマーとは、分子内にアクリロイル基、メタアクリロイル基、ビニル基などの重合可能な基を1個以上有するモノマーまたはオリゴマーである。これら化合物の複数の混合物を基板上に塗布するかまたはセル中に封入し膜状とし、2方向以上の方向から光を照射しながら徐々に硬化させる。

[0142] 照射する光はモノマーあるいはオリゴマーを含有する組成物を硬化させるものであればどのような波長でもよく、例えば可視光線および紫外線等がよく用いられる。

紫外線は水銀ランプやメタルハライドランプ等を用いて照射されるが、棒状ランプを用いた場合はその照射条件を調整することにより、生成したシート状の硬化物に光源の長軸と短軸方向に対し異方性を発現させ、光源の長軸方向を軸として回転させた場合のみ光を拡散させることができる。

[0143] 2方向以上の方向からの光は、硬化時の硬化試料表面に対する光の入射角度を変えるために用いられる。隣り合う2つの光源から試料に入射する角度差が50°以上である場合、拡散フィルムの拡散角度領域が狭くなってしまうため、50°以内、好ましくは30°以内である。

次に、本発明(8)～(14)に用いる湾曲した導波路アレイ構造を有するフィルムの製造方法について述べる。

[0144] このフィルムは、異なる屈折率を有する少なくとも2種類の光重合可能なモノマーあるいはオリゴマーからなる混合物に光を照射し、硬化させることで、湾曲していない導波路構造を作製し、それを物理的に湾曲させることで得られる。

ここで、光重合可能なモノマーあるいはオリゴマーとは、分子内にアクリロイル基、メタアクリロイル基、ビニル基などの重合可能な基を1個以上有するモノマーまたはオリゴマーである。これら化合物の複数の混合物を基板上に塗布するかまたはセル中に封入し膜状とし、光を照射しながら徐々に硬化させる。

[0145] 照射する光はモノマーあるいはオリゴマーを含有する組成物を硬化させるものであればどのような波長でもよく、例えば可視光線および紫外線等がよく用いられる。

紫外線は水銀ランプやメタルハライドランプ等を用いて照射されるが、棒状ランプを用いた場合はその照射条件を調整することにより、生成したシート状の硬化物に光源の長軸と短軸方向に対し異方性を発現させ、光源の長軸方向を軸として回転させた場合のみ光を拡散させることができる。

[0146] このようにして作られたフィルムは、ステップインデックス型の光導波路と層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する型の光導波路とが融合した構造を有する。

このフィルムを有機溶剤に浸漬して柔らかくし、物理的に力を加えることで、湾曲していなかった導波路構造を湾曲させ、本発明(8)ないし(16)に用いる湾曲した導波路アレイ構造を有するフィルムとすることが可能である。前記有機溶剤は、フィルムが有する導波路構造を損ねることなく柔らかくさせるものでありさえすれば、いかなるものでもよい。

#### 実施例1

[0147] 実施例1に用いた拡散フィルムは、フィルム(1)に該当し、図20に示すように、構造的には入射側部分と出射側部分とに分かれている。入射側部分は、y方向に交互に積層した2種の層の屈折率 $n_1$ と $n_2$ の差が比較的小さく、層傾き角度のバラツキの大きい

ステップインデックス型光導波路に相当する図20に示すように、実施例1は、

は、y方向に交互に積層した2種の層の屈折率 $n_1$ と $n_2$ の差が比較的大きく、層傾き角度のバラツキがほとんどなく、その層傾き角度はフィルムに法線に対し $-3^\circ$ である、ステップインデックス型光導波路に相当する層アレイからなる。なお、この拡散フィルムは、 $y_{\max}=4\mu\text{m}$ 、 $L=300\mu\text{m}$ であり、本発明(3)の要件( $L\geq 10\times y_{\max}$ )を満たしている。

[0148] 入射側部分の屈折率は、 $n_1=1.5325$ 、 $n_2=1.5275$ 、屈折率差 $\Delta n=n_1-n_2=0.005$ 、層傾き角度の分布は、図13に測定結果の例を示し、図20にその概要を示すように、 $0^\circ\sim+6.5^\circ$ の略均一にバラツいた第1成分と、 $0^\circ$ に集中的に存在する第2成分との2要素からなる。図13、図20における層傾き角度の「頻度」が前述の「存在確率」に相当する。トップハットのな拡散特性を実現しているのが第1成分であり、第2成分が測定結果のピークを形成している。

[0149] 拡散特性を記述する式(1)～(4)に、入射側部分のパラメータ $\theta+\Delta\theta_{\max}=6.5^\circ$ 、 $\theta-\Delta\theta_{\max}=0^\circ$ 、 $n_1=1.5325$ 、 $n_2=1.5275$ を代入して、 $\theta_1'$ 、 $\theta_1''$ 、 $\theta_2'$ 、 $\theta_2''$ を計算すると、 $\theta_1'=17.2^\circ$ 、 $\theta_1''=7.11^\circ$ 、 $\theta_2'=2.87^\circ$ 、 $\theta_2''=-7.11^\circ$ となる。よって、式(5)より、この入射側部分の出射光拡散角度領域 $\theta_{\text{out}}$ は、 $-7.11^\circ\leq\theta_{\text{out}}\leq 17.2^\circ$ となる。よって、第1成分により、 $-7.11^\circ\leq\theta_{\text{in}}\leq 17.2^\circ$ の範囲で入射した光は、 $-7.11^\circ\leq\theta_{\text{out}}\leq 17.2^\circ$ の範囲に略一様に拡散することになる。

[0150] 次にこの光が、出射側部分の層アレイに入射することになる。出射側部分の屈折率は、 $n_1=1.55$ 、 $n_2=1.51$ 、屈折率差 $\Delta n=n_1-n_2=0.04$ であり、層傾き角度は $-3^\circ$ でほとんどバラツキはない。

入射側部分で $-7.11^\circ\leq\theta_{\text{out}}\leq 17.2^\circ$ の範囲に略一様に拡散した光は、出射側部分をなす $n_1=1.55$ のステップインデックス型光導波路に捕えられ、多重反射を繰り返すことになる。出射側部分の内部では $-4.58^\circ\leq\theta_{\text{in}}\leq 11.0^\circ$ の様に拡散した光となり、層傾き角度が $-3^\circ$ であるので、 $-4.58^\circ\leq\theta_{\text{in}}\leq -3^\circ$ と、 $-3^\circ\leq\theta_{\text{in}}\leq 11.0^\circ$ の角度範囲の光が、 $-3^\circ$ を中心に対称に全反射を繰り返していくことになる。ただし、 $-3^\circ\leq\theta_{\text{in}}\leq 11.0^\circ$ の角度範囲の光のうち、全反射できる角度範囲は、 $n=1.55$ 、 $n=1.51$ より、 $-3^\circ\leq\theta_{\text{in}}\leq 10.0^\circ$ の範囲の光であ



る。よって、出射側部分の内部では、 $-16.0^\circ \leq \theta_{in} \leq 11.0^\circ$  の角度範囲で略一様に拡散することになる。この範囲の光が空気層へ出射すると、 $-25.4^\circ \leq \theta_{out} \leq 17.2^\circ$  の角度範囲で略一様に拡散することになる。これは、測定結果と略一致する。

- [0151] 次に、光のピークについて解析する。入射側部分の層傾き角度の分布において、 $0^\circ$  のところに頻度のピークが存在するため、 $0^\circ$  入射の場合、その入射光はこのピークの影響で $0^\circ$  のままで入射側部分を抜けていく。この抜けた光が出射側部分に入ると、 $-3^\circ$  の層で全反射し、奇数回反射した場合 $-6^\circ$  方向へ、偶数回反射した場合 $0^\circ$  方向へ進むことになり、 $0^\circ$  と $-6^\circ$  の光が生じる。これが空気層に出ると、 $0^\circ$  と $-9.32^\circ$  の方向へ進むことになり、測定結果において $0^\circ$  と $-9.32^\circ$  にピークが生じている。

## 実施例 2

- [0152] 実施例2に用いた拡散フィルムは、フィルム(3)に該当し、図21に示すように、構造的には入射側部分と出射側部分とに分かれている。入射側部分はグラジエントインデックス型の層アレイで構成され、出射側部分はステップインデックス型の層アレイで構成されている。なお、この拡散フィルムは、それ自体としては実施例1のそれと同じものであるが、この実施例2では、拡散フィルムの入射側部分が、上述のグラジエントインデックス型のモデルにもあてはまり、当該モデルによってもその拡散特性をよく記述できることを示す。

- [0153] 入射側部分の層アレイは、導波路の光軸が図13の測定例に示すようにバラツいている。なお、光軸がバラツいているとは、光軸とフィルム面の法線とのなす角度(図13の層傾き角度に相当)にバラツキがあることを意味する。個々の導波路内の屈折率分布関数は、式(6)で表されるパラボリックな分布関数であり、パラメータは、 $b = 2 \mu\text{m}$ 、 $n_1 = 1.5325$ 、 $n_2 = 1.5275$ である。よって、式(9)より、 $A = 6.525 \times 10^9$ であり、(8)式より、 $P/2 = 38.89 \mu\text{m}$ である。光軸のバラツキは $0^\circ \sim 6.5^\circ$ であるので、式(7)は、 $\theta = 0^\circ$  で成立すればよく、すなわち $L_{z\text{max}} - L_{z\text{min}} \geq 38.89 \mu\text{m}$ である。本実施例では $L_{z\text{max}} - L_{z\text{min}}$ は、図21に示すように $40 \mu\text{m}$ 程度であるので、入射光

° の範囲にバラツキているが、トップハットのな拡散特性のエッジ部を決めるのは、0° と6.5° の導波路であるので、0° と6.5° の解析を行う。

[0154] まず、6.5° の導波路について解析する。導波路内部では式(15)より導かれる範囲で光は蛇行することになる。よって、この導波路による拡散角は $-0.557^\circ \sim 13.56^\circ$  である。 $n_1 = n_g$  とすると、この拡散光が、出射側部分をなすステップインデックス型の層アレイへ入射することになる。出射側部分のパラメータは、 $n_1 = 1.55$ 、 $n_2 = 1.51$ 、屈折率差  $\Delta n = n_1 - n_2 = 0.04$  であり、層傾き角度は $-3^\circ$  でほとんどバラツキはない。

[0155] 入射側部分で $-0.557^\circ \sim 13.56^\circ$  の範囲に一樣に拡散した光は、出射側部分の $n_1 = 1.55$ のステップインデックス型光導波路に捕われ、多重反射を繰り返すことになる。出射側部分の内部では、光は $-0.551^\circ \sim 13.4^\circ$  の一樣に拡散した光となり、層傾き角度が $-3^\circ$  であるので、 $-3^\circ$  を中心に対称に全反射を繰り返していくことになる。ただし、 $-0.551^\circ \sim 13.4^\circ$  の角度範囲の光のうち、全反射できる角度範囲の光は、 $n_1 = 1.55$ 、 $n_2 = 1.51$ より、 $-0.551^\circ \sim 10^\circ$  の角度範囲のみである。よって、出射側部分の内部では、 $-16.0^\circ \sim -5.45^\circ$ 、 $-0.551^\circ \sim 13.4^\circ$  の角度範囲で一樣に拡散することになる。 $-5.45^\circ \sim -0.551^\circ$ の間には光がないが、 $0^\circ \sim 6.5^\circ$  のクラジエントインデックス型光導波路が間を埋めるため、 $-16^\circ \sim 13.4^\circ$  の角度範囲で一樣に拡散する。この光が空気層へ出射すると、 $-25.4^\circ \sim 21.1^\circ$  の角度範囲で一樣に拡散することになる。

[0156] 入射側部分のクラジエントインデックス型導波路が $0^\circ$  の場合についても同様に解析すると、出射側部分を出た光は、 $-20.4^\circ \sim 10.9^\circ$  の角度範囲で一樣に拡散することになる。よって、 $-25.4^\circ \sim 21.1^\circ$ の間に含まれており、 $0^\circ \sim 6.5^\circ$ の間で光軸のバラツキたクラジエントインデックス型光導波路の層アレイで構成された入射側部分とステップインデックス型光導波路の層アレイで構成された出射側部分との積層モデルでは、 $-25.4^\circ \sim 21.1^\circ$  の角度範囲で一樣に光を拡散させることになる。

[0157] 次に、光のピークについて解析する。入射側部分の導波路の光軸のバラツキ分布において、 $0^\circ$  のところに頻度のピークが存在するため、 $0^\circ$  の導波路の間に隙間が

あると擦り抜ける光が存在する。この光は $0^\circ$  入射の場合、そのまま出射側部分へ入射することになる。出射側部分の層は $-3^\circ$  傾いているので、 $-3^\circ$  の層で全反射し、奇数回反射した場合 $-6^\circ$  方向へ、偶数回反射した場合 $0^\circ$  方向へ進むことになり、 $0^\circ$  と $-6^\circ$  の光が生じる。これが空気層に出ると、 $0^\circ$  と $-9.32^\circ$  の方向へ進むことになり、測定結果において $0^\circ$  と $-9.32^\circ$  にピークが生じている。

### 実施例 3

[0158] 実施例3では、図41(a)に示すように、屈折率の相異なる層 $9_1$ と層 $9_2$ とが面内方向に交互に重なって配列した構造を有する光学フィルム9から採取した光学フィルム片9Aを図41(b)に示すように曲げて配置することで、本発明に用いる光出射方向変換拡散フィルムの曲がり導波路構造と光学的に等しい構造を実現した。各層の厚さは $2\mu\text{m}$ である。各層は、層境界局所曲率半径をばらつかせたステップインデックス型の光導波路と、層長さをばらつかせたグラジエントインデックス型の光導波路とが融合した構造をもち、層厚さ中心部における屈折率が、層 $9_1$ では1.55、層 $9_2$ では1.51である。また、空気界面での全反射を防ぐために、図41(b)に示すように、曲げた光学フィルム片9Aの周辺を屈折率1.6の透明媒体12で満たした。曲率半径は最小の層でも4cmと、式(1-16)の $R_{\text{minstep}}$  および式(2-32)の $R_{\text{min}}$  のいずれと比べても十分大きくした。

[0159] このようにして曲げて配置した光学フィルム片9Aに、その一端面側から光源11を用いて光(入射光 $11_1$ )を入射させる実験を行い、この光が他端面側から出射光 $11_2$ として出射することを確認した。出射光 $11_2$ の光強度は入射光 $11_1$ の光強度と略同等であった。

### 実施例 4

[0160] 実施例4では、図33に示した実際の薄型リアプロジェクションディスプレイシステムに本発明(8)に相当するスクリーン(ステップインデックス型の光出射方向変換フィルム+拡散フィルム)を適用する場合の光出射方向変換フィルムと光学エンジンとのNAマッチングを行う設計の具体例を示す。

実際のシステムのミラーM1、M3と非球面ミラーM2を外して展開した光学系は図2

[0161] 実際のシステムでは図33に示すように、光はスクリーン10の裏でミラーM1、M2および非球面ミラーM2により3回方向を変え、光学エンジン20出力光は直前のミラーM1で横に曲げられる。実際のシステムの奥行き(ミラーM3とスクリーン10の面間距離)を20cm、スクリーン10の高さを1m、レンズとミラーM1の中心間距離を40cmとすると、図27の展開光学系では、 $b = 20\text{cm} \times 3 + 40\text{cm} = 1\text{m}$ 、 $S_2 = 1\text{m}$ である。DM Dチップからなる画像表示パネル21の縦長さ(=図27の $S_1$ )を2.5cmとすると、倍率 $S_2/S_1 = 1\text{m}/2.5\text{cm} = 40 = b/a = 1\text{m}/a$ より、 $a = 2.5\text{cm}$ であり、 $1/a + 1/b = 1/f$ より、レンズの焦点距離 $f = 2.44\text{cm}$ である。レンズ口径 $d$ は2.4cmとした。 $l_1 = 30\text{cm}$ とすると、 $l_2 = l_1 + S_2 = 130\text{cm}$ である。

[0162] これで光学系のパラメータが決定したので、式(0-2)、(0-3)より、図27の $\theta_1$ 、 $\theta_0$ は、 $\theta_1 = 52.474^\circ$ 、 $\theta_0 = 16.066^\circ$ となる。光学系のシステムの入力NAを決める角 $\theta_{\text{opt}}$ の範囲は、 $\theta_0$ 以上 $\theta_1$ 以下である。この範囲と光出射方向変換フィルムの入力角度範囲が一致すればNAマッチングが成立する。

ステップインデックス型の光出射方向変換フィルムの入力角度範囲は、式(1-12)より、 $\theta_{\text{in4}}$ 以上 $\theta_{\text{in5}}$ 以下であるから、NAマッチング成立条件は、 $\theta_{\text{in4}} = \theta_0 = 16.066^\circ$ 、 $\theta_{\text{in5}} = \theta_1 = 52.474^\circ$ である。

[0163] 次に、 $\theta_{\text{bend}}$  ( $\theta_{\text{bend-in}}$ に該当)を計算する。 $\theta_{\text{bend}}$ は、式(1-9)の $-\theta_{\text{in4}}$ を $+\theta_{\text{in4}}$ とした式と式(1-11)とから導出される次式で計算される。

$$\theta_{\text{bend}} = 1/2 \times [\sin^{-1}(n_{\text{air}}/n_{\text{g}} \times \sin \theta_{\text{in4}}) + \sin^{-1}(n_{\text{air}}/n_{\text{g}} \times \sin \theta_{\text{in5}})] \cdots (1-21)$$

この式を用いて、 $\theta_{\text{in4}}$ 、 $\theta_{\text{in5}}$ を上記各値とし、 $n_{\text{g}} = 1.5$ 、 $n_{\text{air}} = 1.0$ として計算すると、 $\theta_{\text{bend}} = 21.275^\circ$ となる。

[0164] 次に、曲がり導波路の曲率半径を計算する。この計算では、式(1-11)を変形して得られる次式:

$$\sin[\cos^{-1}(n_{\text{g}}/n_1 \times \sin(\sin^{-1}(n_{\text{air}}/n_{\text{g}} \times \sin \theta_{\text{in5}}) = \theta_{\text{bend}}))] = n_2/n_1 \times (1 + y/r_0) \cdots (1-11)$$

B)

に $\theta_{\text{in5}}$ 、 $\theta_{\text{bend}}$ 、 $n_{\text{g}}$ 、 $n_{\text{air}}$ 、 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $y$ (光導波路の幅=層の厚さ)の値を入れて $r_0$ を計算し、 $R = r_0 + y/2$ より、曲率半径を求める。 $\theta_{\text{in5}}$ 、 $\theta_{\text{bend}}$ 、 $n_{\text{g}}$ 、 $n_{\text{air}}$ を上記各値とし、 $n_1 = 1.55$ 、 $n_2 = 1.51$ 、 $y = 4\mu\text{m}$ として $r$ を求めると、 $r = 401.617\mu\text{m}$ となる。よって、曲

率半径は、 $R=r_0+y_1/2=403.617\mu\text{m}$ となる。

- [0165] また、フィルムの厚さ $t_f$ は、 $\theta_{\text{bend}}$ を用いると図42より $(r_0+y_1)\times\sin\theta_{\text{bend}}$ であるので、 $t_f=(r_0+y_1)\times\sin\theta_{\text{bend}}=147.2\mu\text{m}$ である。

一方、出力側のNAは、式(1-5)で決まるので、同式に上で求めた $r_0$ とその他のパラメータを代入すると、 $\theta_{\text{out2}}=16.084^\circ$ となる。よって式(1-6)より、出力側NAを決める角の範囲は、 $-16.084^\circ\leq\theta_{\text{NAstep}}\leq+16.084^\circ$ となる。

### 実施例 5

- [0166] 実施例5では、実施例4と同じ薄型リアプロジェクションディスプレイシステムに本発明(9)に相当するスクリーン(グラジエントインデックス型の光出射方向変換フィルム+拡散フィルム)を適用する場合の光出射方向変換フィルムと光学エンジンとのNAマッチングを行う設計の具体例を示す。

光学系のシステムの出力NAを決める角 $\theta_{\text{opt}}$ の範囲は、実施例4と同じ $\theta_0(=16.066^\circ)$ 以上 $\theta_1(=52.474^\circ)$ 以下である。この範囲と光出射方向変換フィルムの入力角度範囲が一致すればNAマッチングが成立する。

- [0167] グラジエントインデックス型の光出射方向変換フィルムの入力角度範囲は、式(2-16A)より、 $\theta_{\text{in2}}$ 以上 $\theta_{\text{in1}}$ 以下であるから、NAマッチング成立条件は、 $\theta_{\text{in2}}=\theta_0=16.066^\circ$ 、 $\theta_{\text{in1}}=\theta_1=52.474^\circ$ である。

次に、 $\theta_{\text{bend}}$  ( $\theta_{\text{bend-in}}$ に該当)を計算する。 $\theta_{\text{bend}}$ は、式(2-12A)を変形してなる次式で計算される。

- [0168]  $\theta_{\text{bend}}=\sin^{-1}(n_{\text{air}}/n_g\times\sin\theta_{\text{in1}})-\sin^{-1}(n_1/n_g\times\sin\theta_{\text{NA0}})]\cdots(2-12B)$

ここで、 $\theta_{\text{NA0}}$ は式(2-5):  $\theta_{\text{NA0}}=\tan^{-1}(n_1\times\sqrt{A\times y_1/2})$ で計算され、式(2-5)中のAは式(2-2):  $A=(8/y_1^3)\times(n_1^2-n_2^2)/n_1$ で計算される。

式(2-2)に $y_1=4\mu\text{m}$ 、 $n_1=1.55$ 、 $n_2=1.51$ を代入すると、 $A=1.290\times10^{10}$ となる。該A値および前記 $y_1$ 、 $n_1$ 値を式(2-5)に代入すると、 $\theta_{\text{NA0}}=19.397^\circ$ となる。そ

こで、該 $\theta_{\text{NA0}}$ 値、前記 $\theta_{\text{in1}}$ 、 $n_1$ 値および $n_g=1.5$ 、 $n_{\text{air}}=1.0$ を式(2-12B)に代入し、 $\theta_{\text{bend}}=11.848^\circ$ が決定する。

- [0169] 次に、 $n$ を決定する。 $n$ は、式(2-15A)を変形してなる次式を用いて計算される。

$$n=A\cdot\sqrt{A}=\sin^{-1}(n_{\text{air}}/n_g\times\sin\theta_{\text{bend}})-\sin^{-1}(n_1/n_g\times\sin\theta_{\text{NA0}})]\cdots(2-15B)$$

式(2-15B)に、該式中のパラメータ対応分の前記各値を代入し、 $n=1.0646$ が決定する。

- [0170] 次に、曲がり導波路の曲率半径を計算する。この計算では、式(2-4):  $P=2 \times \pi / \sqrt{A}$  に前記A値を代入して、 $P=55.32 \mu\text{m}$ を得、該P値と前記  $\theta_{\text{NA0}}$ 、n値を式(2-30):  $R=r_0+y_1/2=(P/4)/\tan(\theta_{\text{NA0}}/(2 \times n))$  に代入し、曲率半径  $R=86.247 \mu\text{m}$  が決定する。

また、フィルムの厚さ  $t_f$  は、 $\theta_{\text{bend}}$  を用いると図42より  $(r_0+y_1) \times \sin \theta_{\text{bend}}$  であるので、 $t_f=(r_0+y_1) \times \sin \theta_{\text{bend}}=18.1185 \mu\text{m}$  (ただし  $\theta_{\text{bend-out}}=0^\circ$  の場合) である。

- [0171] 一方、出力側NAは、上下対称出力で設計する。出力側光軸角度  $\theta_{\text{axis}} (= \theta_{\text{bend-out}})$  は、式(2-26)に、該式中のパラメータ対応分の前記各値を代入することにより、 $\theta_{\text{axis}} (= \theta_{\text{bend-out}}) = 9.4273^\circ$  となる。よって、式(2-27)より、 $\theta'_{\text{out3}} = \theta'_{\text{out4}} = 16.084^\circ$  となる。よって、式(2-28)より、この光出射方向変換フィルムの上下対称出力NAを決める角の範囲は、 $-16.084^\circ \leq \theta_{\text{NAout}} \leq 16.084^\circ$  となる。

#### 産業上の利用可能性

- [0172] 本発明は、リア(またはフロント)プロジェクションディスプレイ用スクリーンの設計・製造に利用することができる。

## 請求の範囲

- [1] 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムからなるプロジェクションディスプレイ用スクリーンにおいて、前記拡散フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層が、フィルム面内の一方向に並んだ縞を形成し、フィルム厚さ方向に対して所定の角度範囲に略トップハット型に分布する層傾き角度の方向に延在する構造を有することを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーン。
- [2] 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムからなるプロジェクションディスプレイ用スクリーンにおいて、前記拡散フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層が、フィルム面内の一方向に並んだ縞を形成し、フィルム厚さ方向に対して所定の角度範囲に1または2以上のピークを含み該ピーク以外は略トップハット型に分布する層傾き角度の方向に延在する構造を有することを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーン。
- [3] 前記拡散フィルムの構造は、フィルム厚さ $L$ および縞の幅の最大値 $y_{\max}$ が次式を満たすものであることを特徴とする請求項1または2に記載のプロジェクションディスプレイ用スクリーン。
- $$L \geq 10 \times y_{\max}$$
- [4] 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムからなるプロジェクションディスプレイ用スクリーンにおいて、前記拡散フィルムは、フィルム厚さ方向の一部位に、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす複数の層が、所定の範囲に略トップハット型に分布する層長さをもちてフィルム厚さ方向または該方向から傾いた方向に延在する構造を有することを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーン。
- [5] 前記拡散フィルムの構造は、前記光導波路の屈折率分布がグラジエントインデックス型であり、層の傾き角度 $\theta$ 、層長さの最大値 $L_{z\max}$ 、最小値 $L_{z\min}$ および光導波路のピッチ $P$ が次式を満たすものであることを特徴とする請求項4記載のプロジェクション

$$L_{z\max} - L_{z\min} \geq (P/2) \times \cos \theta$$

- [6] 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムからなるプロジェクションディスプレイ用スクリーンにおいて、前記拡散フィルムは、請求項1～3のいずれかに記載の拡散フィルムと同じ構造の部分と請求項4または5に記載の拡散フィルムと同じ構造の部分とがフィルム厚さ方向またはフィルム面内方向に混在する構造を有することを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーン。
- [7] 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムからなるプロジェクションディスプレイ用スクリーンにおいて、前記拡散フィルムは、請求項1～3のいずれかに記載の拡散フィルムの構造と請求項4または5に記載の拡散フィルムの構造とが融合してなる構造を有することを特徴とするプロジェクションディスプレイ用スクリーン。
- [8] 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。
- [9] 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。
- [10] 入射光拡散角度領域から入射した光を出射光拡散角度領域に拡散させる拡散フィルムと、斜め方向から入射した光を正面方向に出射させる光出射方向変換フィルムとからなるスクリーンにおいて、前記光出射方向変換フィルムは、請求項8記載の構造と請求項9記載の構造とがフィルム厚さ方向およびフィルム面内方向のいずれか

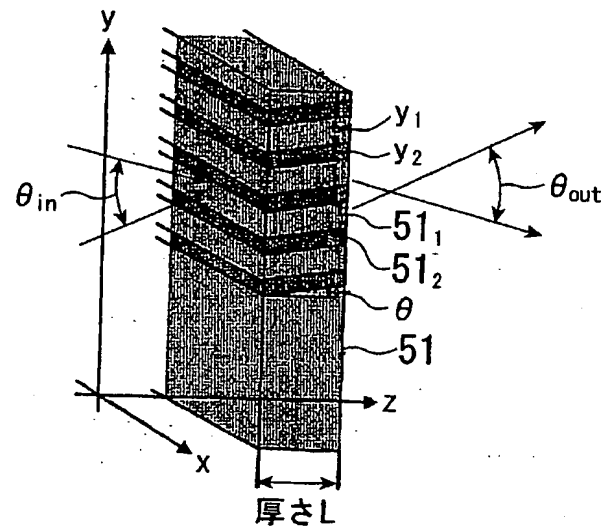


一方または両方に混在した構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。

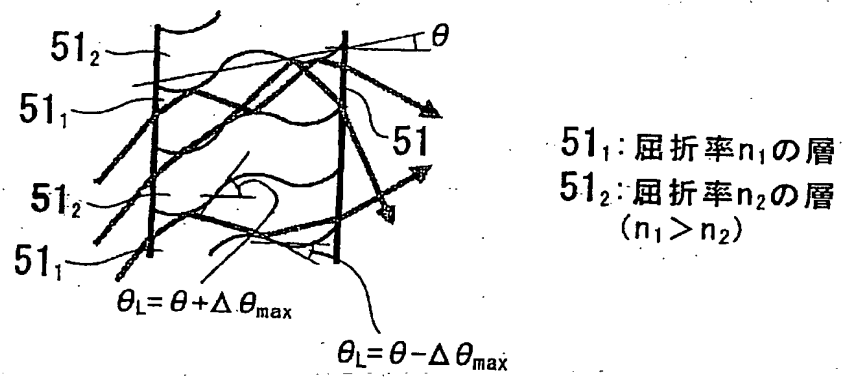
- [11] 前記拡散フィルムの入射光拡散角度領域と前記光出射方向変換フィルムの出射角度領域とがマッチングすることを特徴とする請求項8～10のいずれかに記載の光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。
- [12] 斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、隣接相互間で異なる屈折率を有して複数のステップインデックス型光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在し、その層傾き角度が略トップハット型に分布する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。
- [13] 斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、層厚さ方向に集光能力を発現する屈折率分布を有する光導波路をなす複数の層がフィルム面内方向に縞状に並び、フィルム厚さ方向に対し湾曲して延在し、その層長さが略トップハット型に分布する構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。
- [14] 斜め方向から入射した光を正面方向に拡散出射させる光出射方向変換拡散フィルムからなるスクリーンであって、前記光出射方向変換拡散フィルムは、請求項12記載の構造と請求項13記載の構造とがフィルム厚さ方向およびフィルム面内方向のいずれか一方または両方に混在した構造、または請求項12記載の構造と請求項13記載の構造とが融合した構造を有することを特徴とする光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーン。
- [15] 請求項8～14のいずれかに記載の光出射方向変換機能を有するフィルムを用いたスクリーンと、該スクリーンへの入射光を発光するプロジェクタとを有し、該プロジェクタのプロジェクタ開口および配置が前記スクリーンの入射角度領域とマッチングされてなるプロジェクションディスプレイシステム光学系。
- [16] さらに前記プロジェクタからの発光を反射して前記スクリーンへ入射させる反射鏡を

有し、該反射鏡の配置が前記スクリーンの入射角度領域とマッチングされてなる請求項15記載のプロジェクションディスプレイシステム光学系。

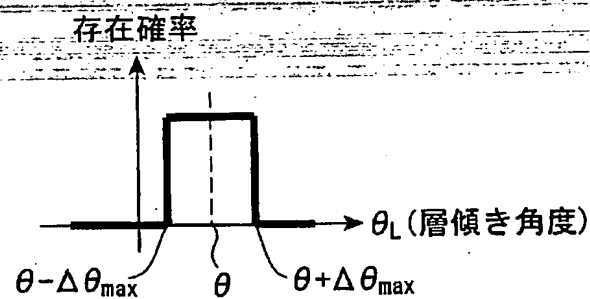
[図1]



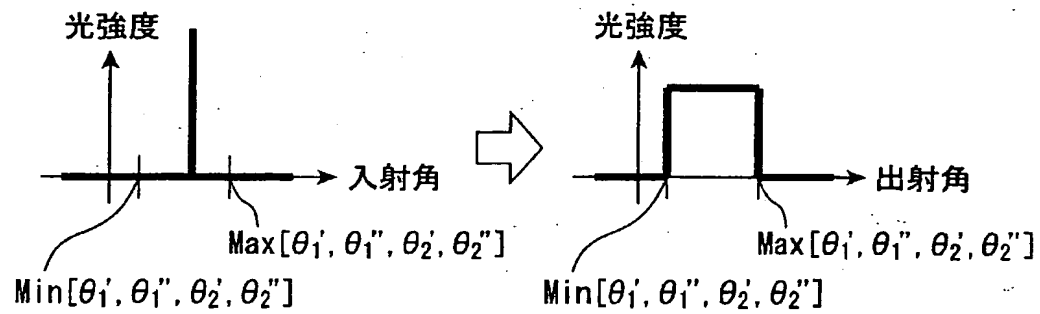
[図2]



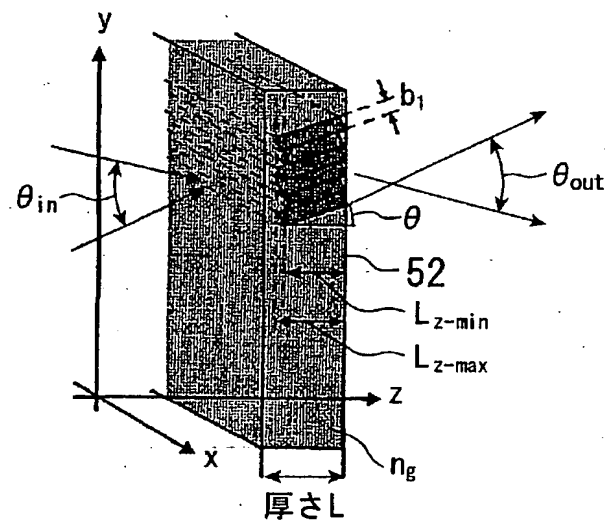
[図3]



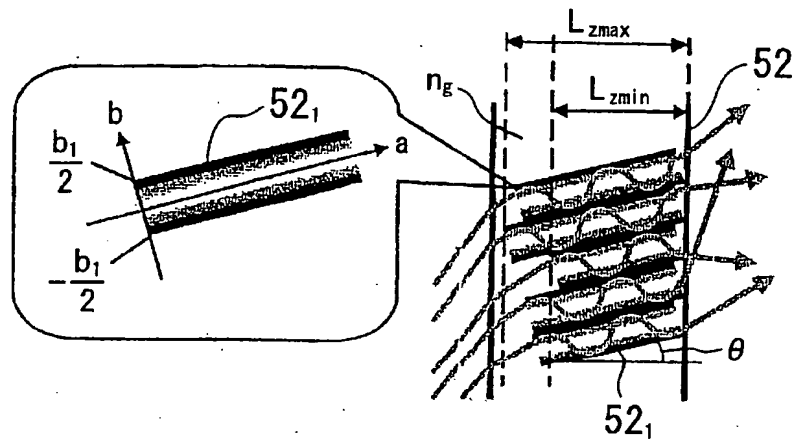
[図4]



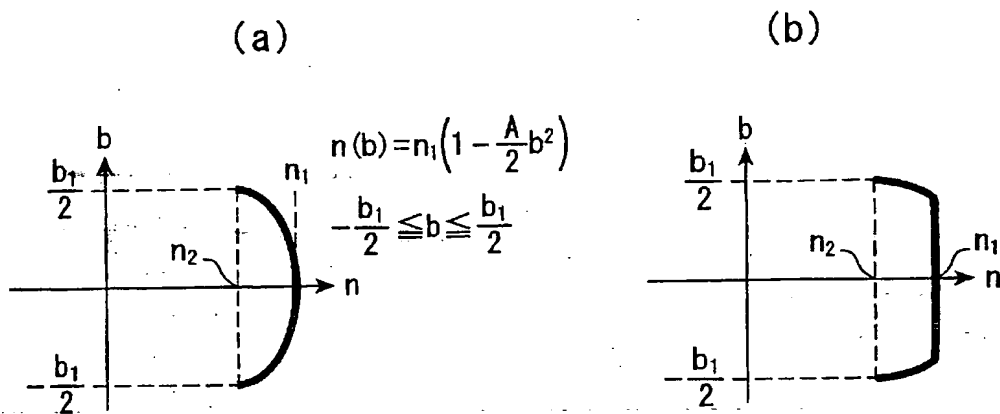
[図5]



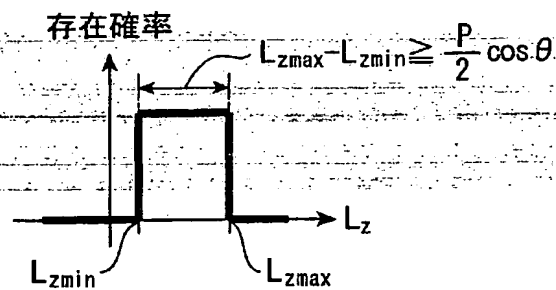
[図6]



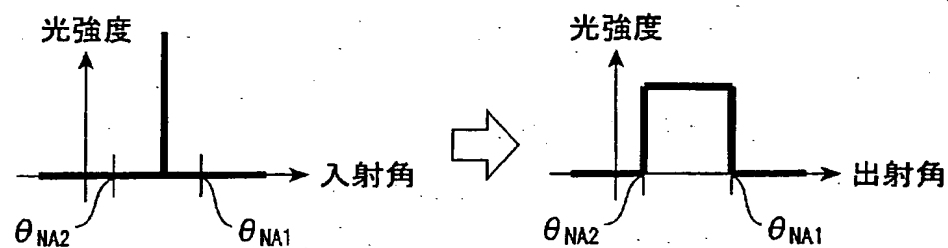
[図7]



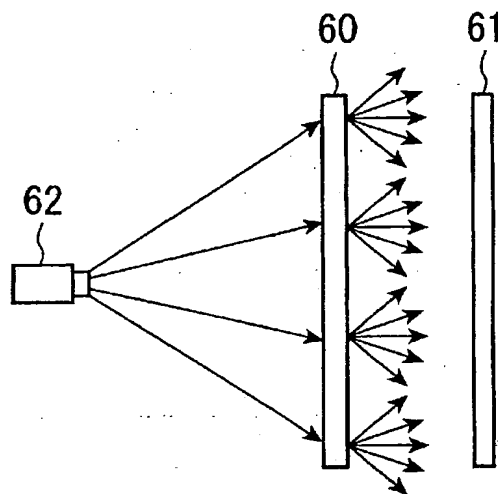
[图8]



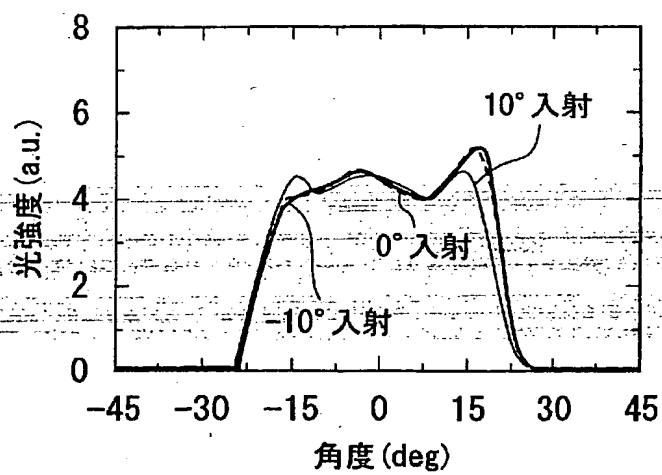
[図9]



[図10]

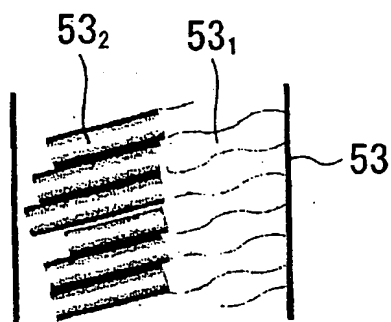


[図11]

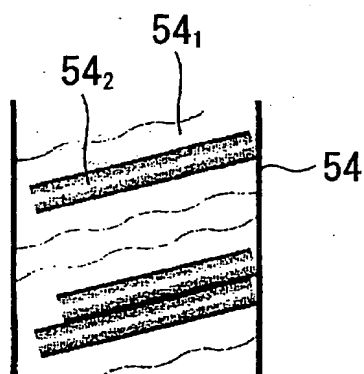


[図12]

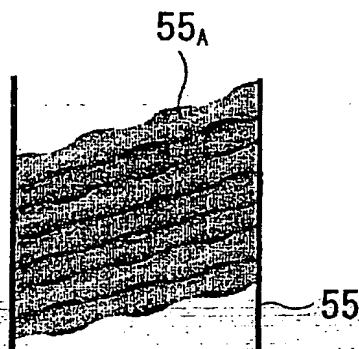
(a)



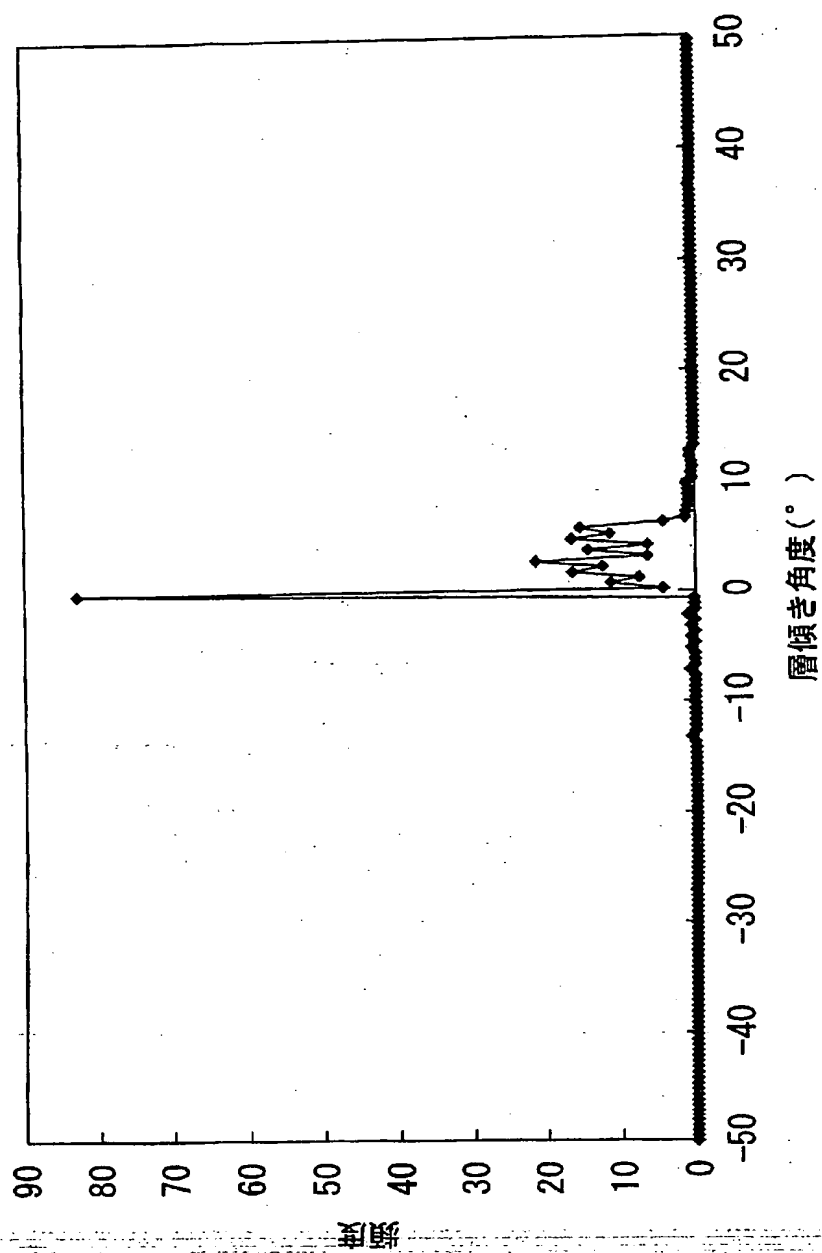
(b)



(c)

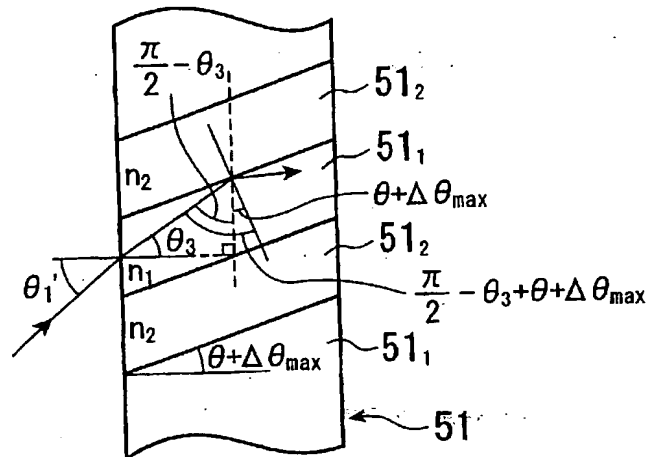


[図13]

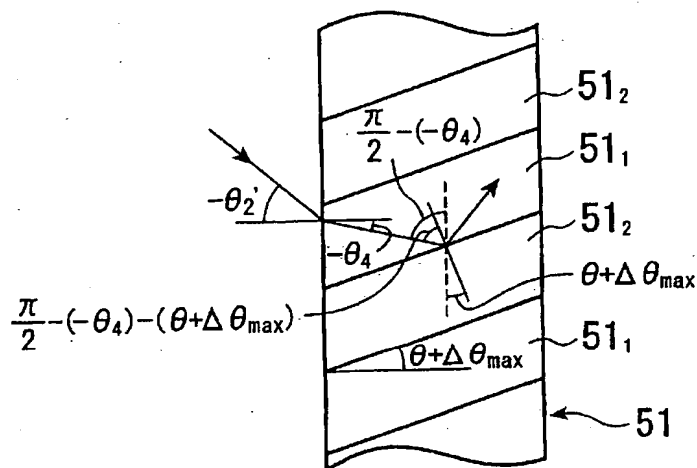




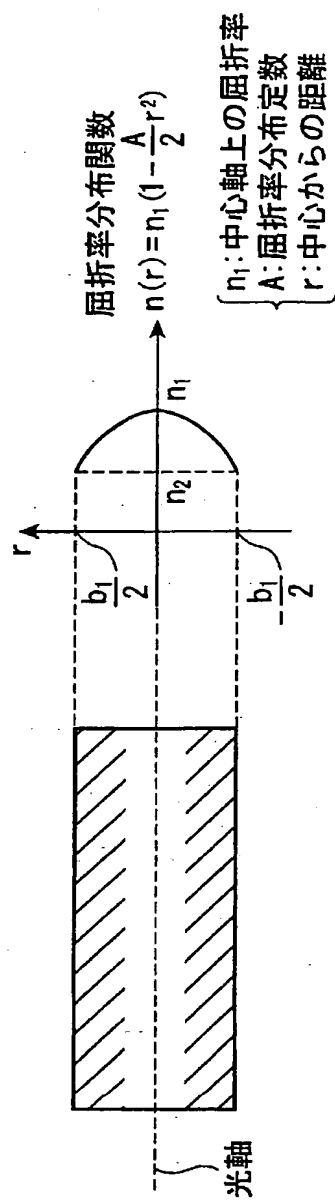
[図14]



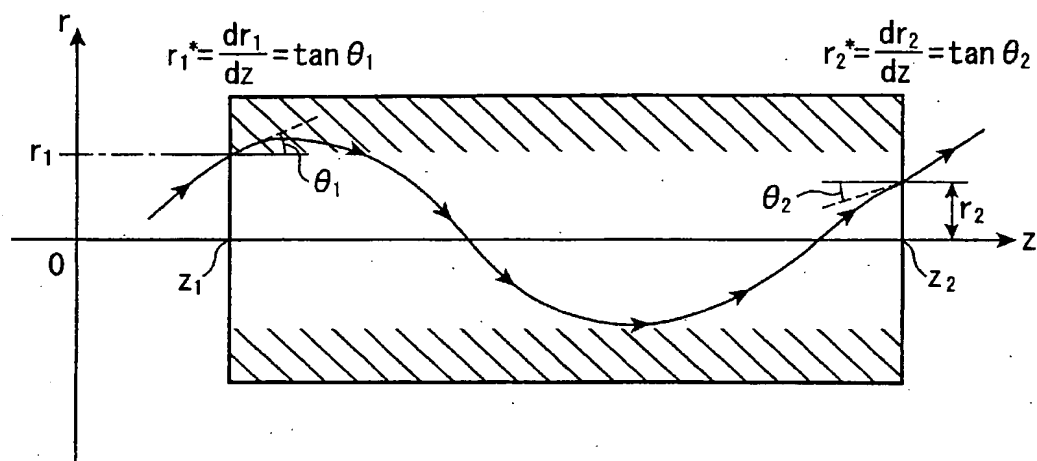
[図15]



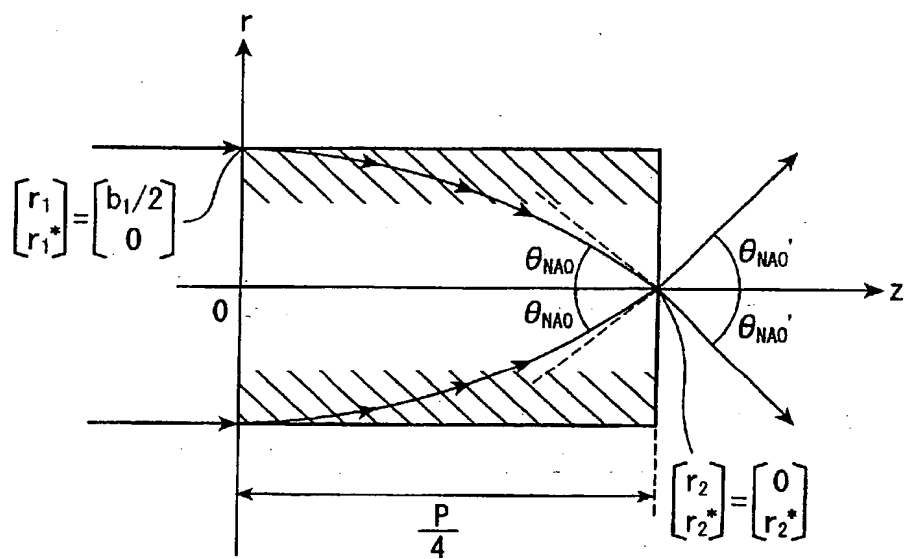
[図16]



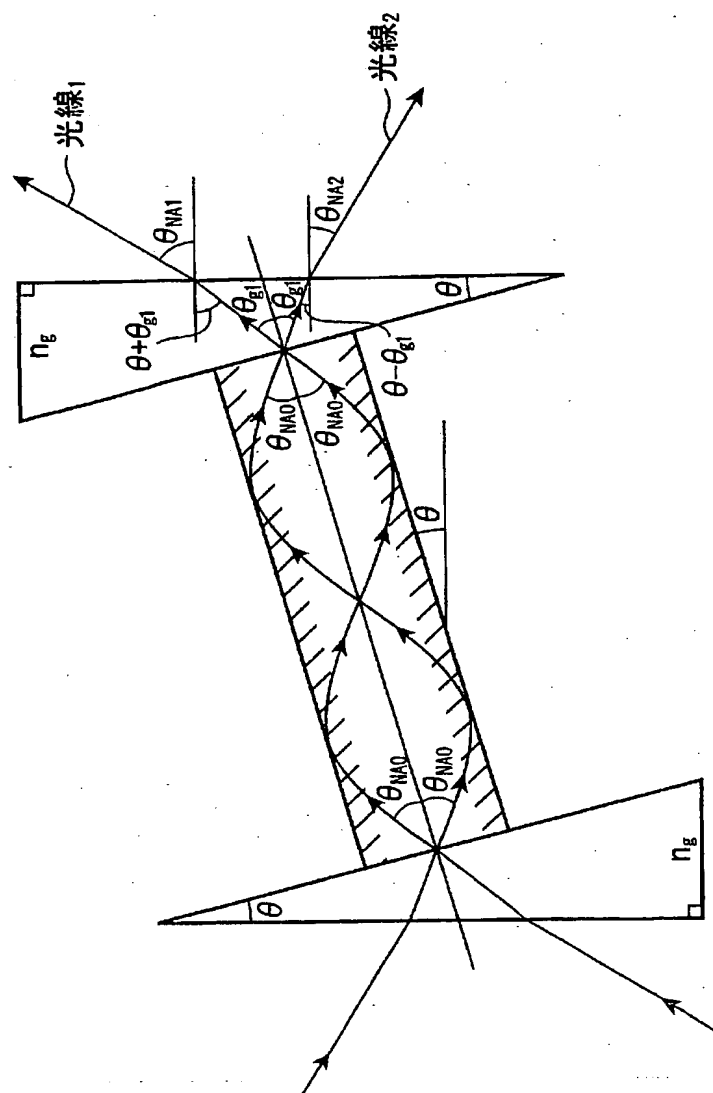
[図17]



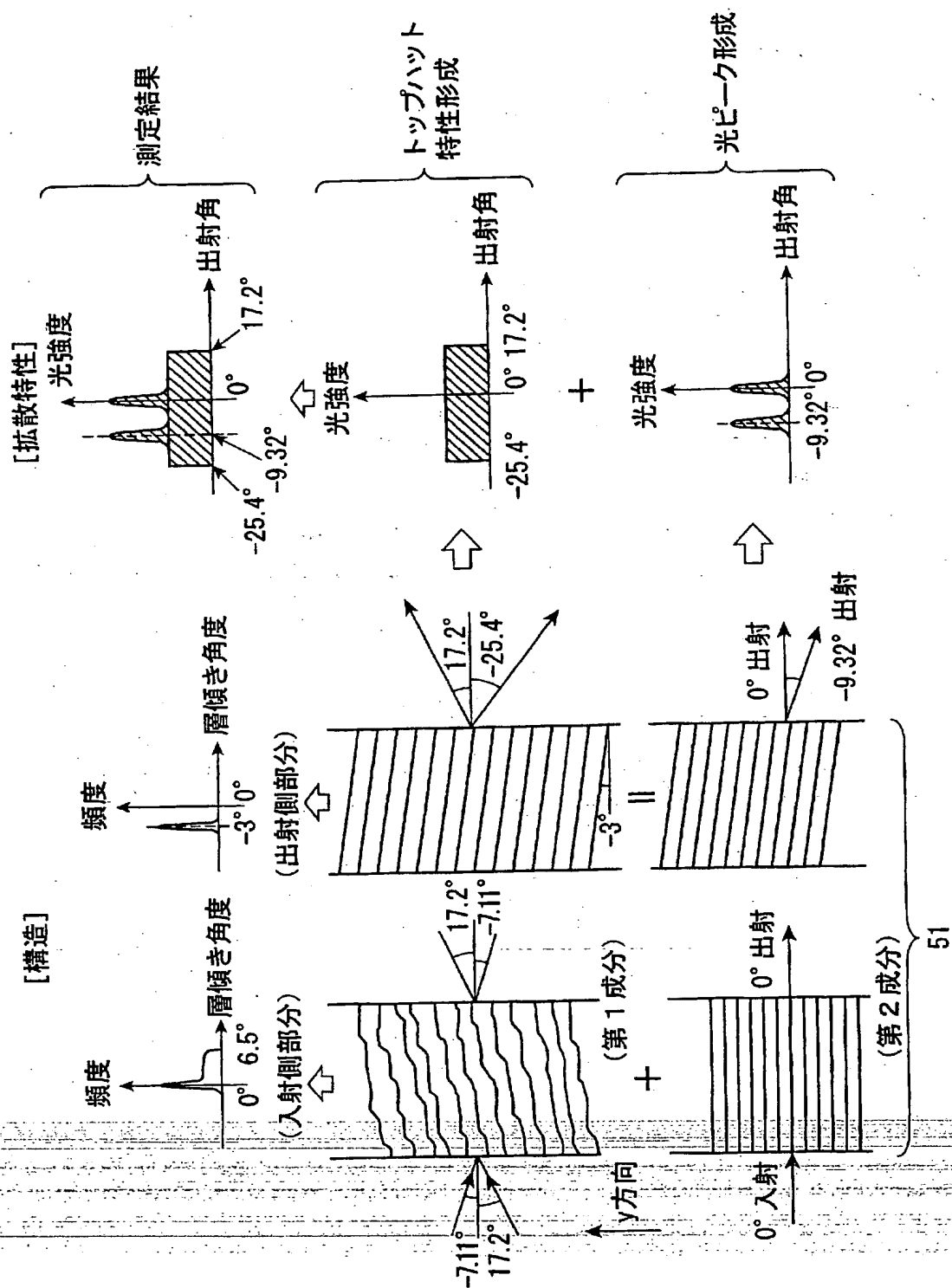
[図18]



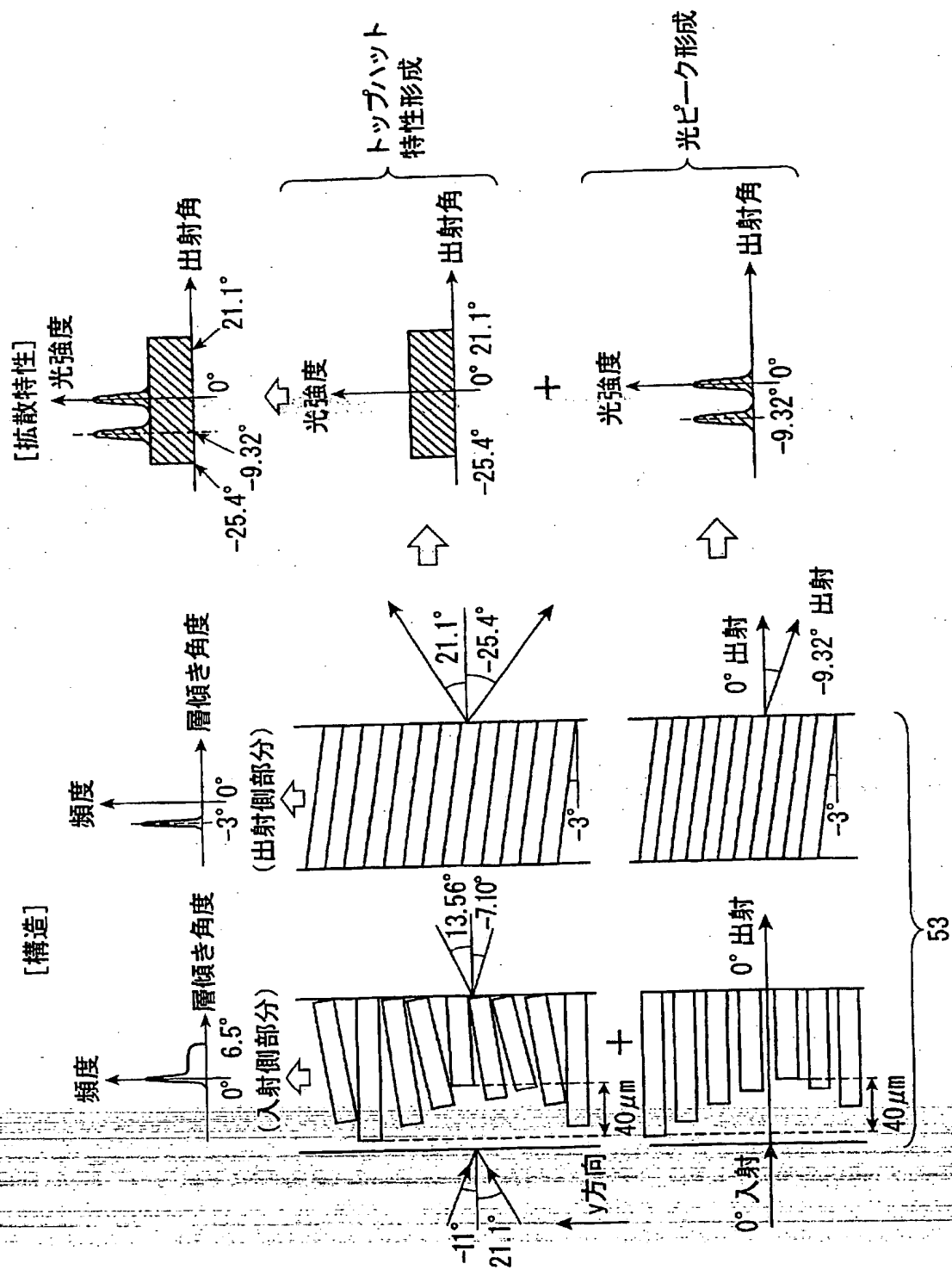
[図19]



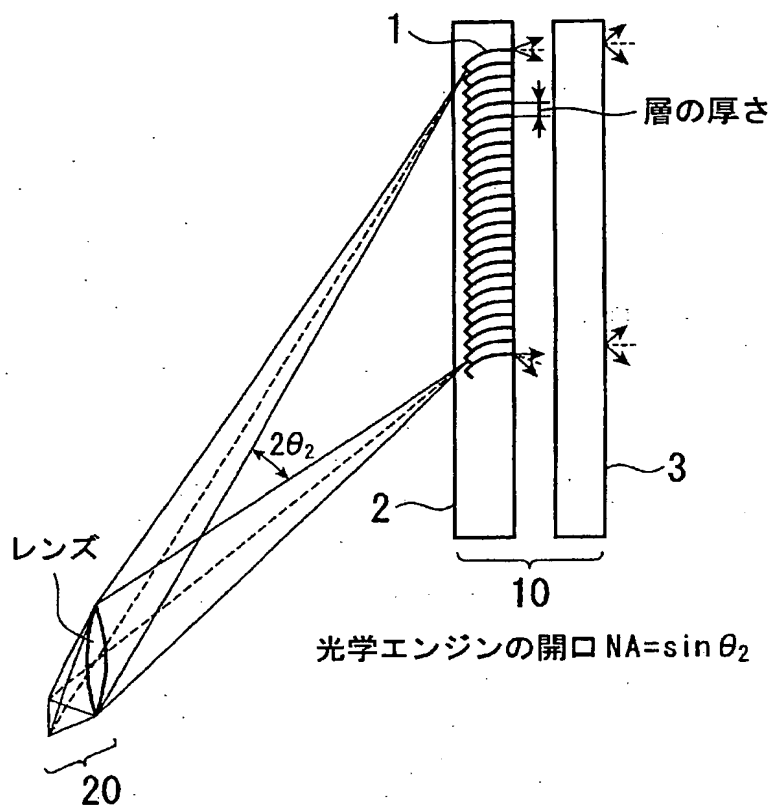
[図20]



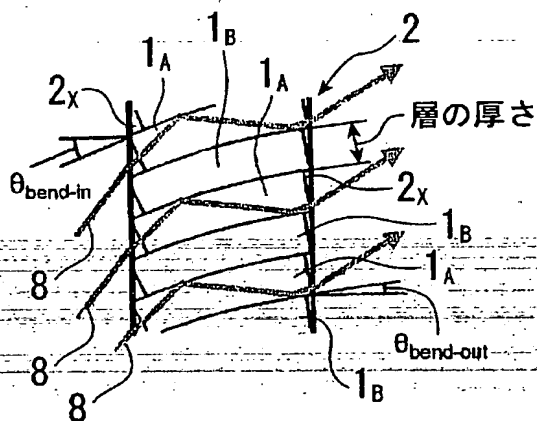
[図21]



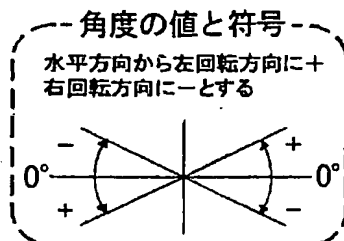
[図22]



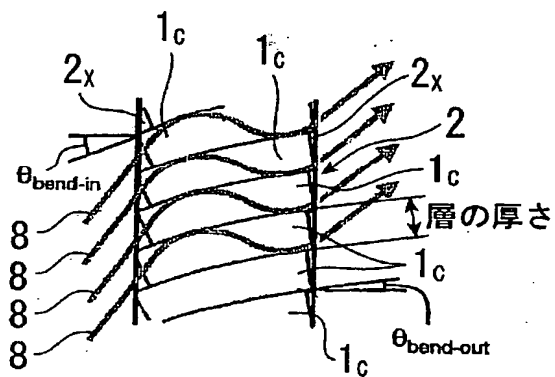
[図23]



[図24]



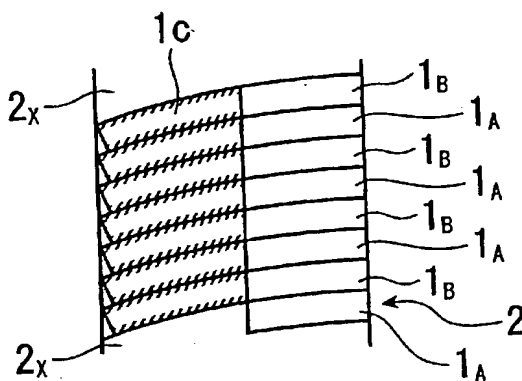
[図25]



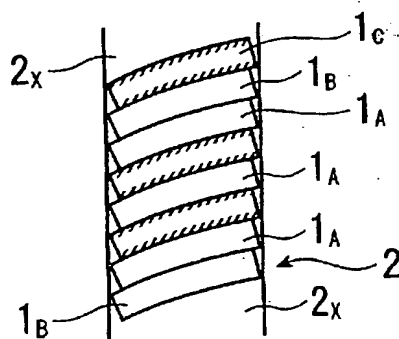


[図26]

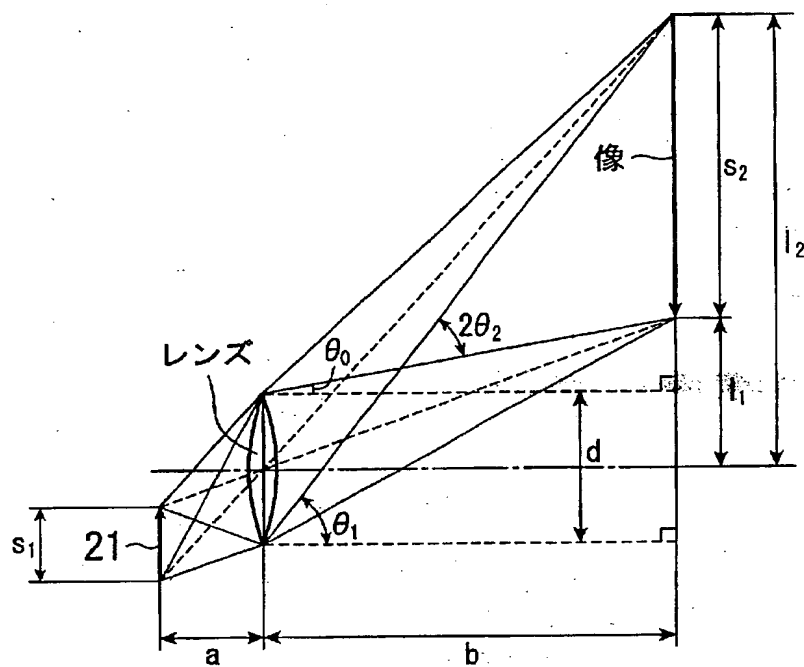
(a)



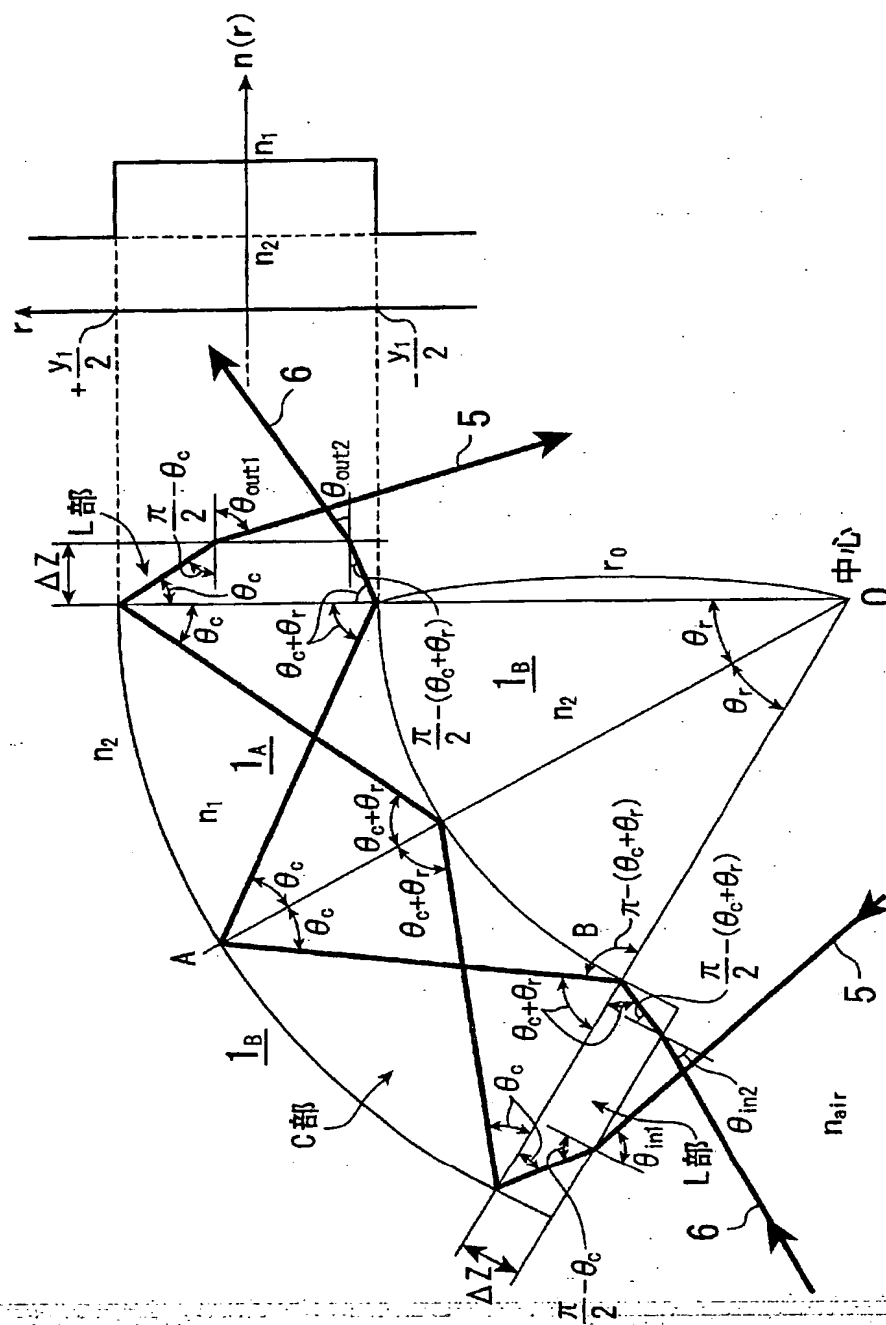
(b)



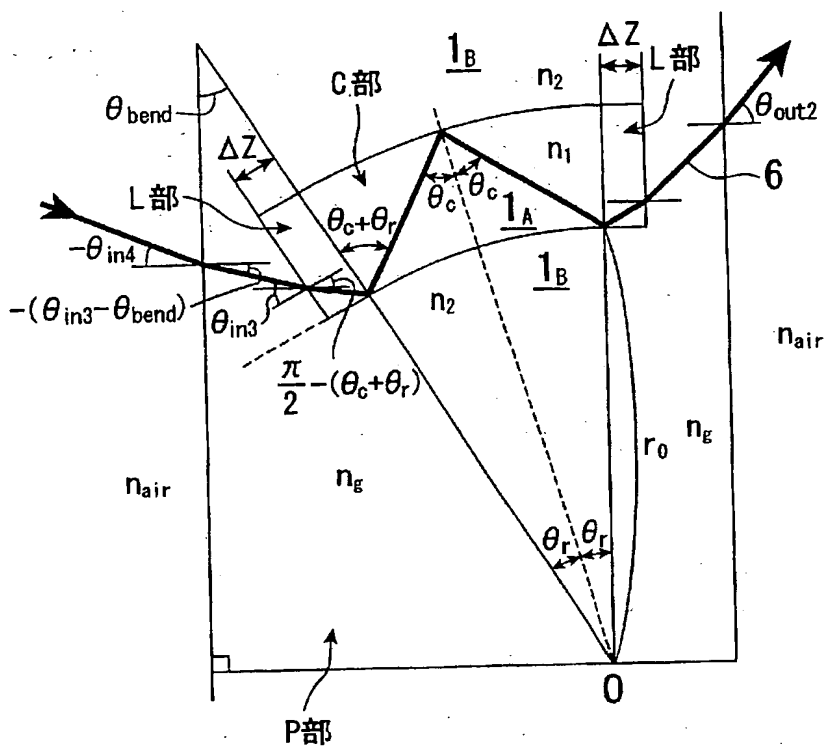
[図27]



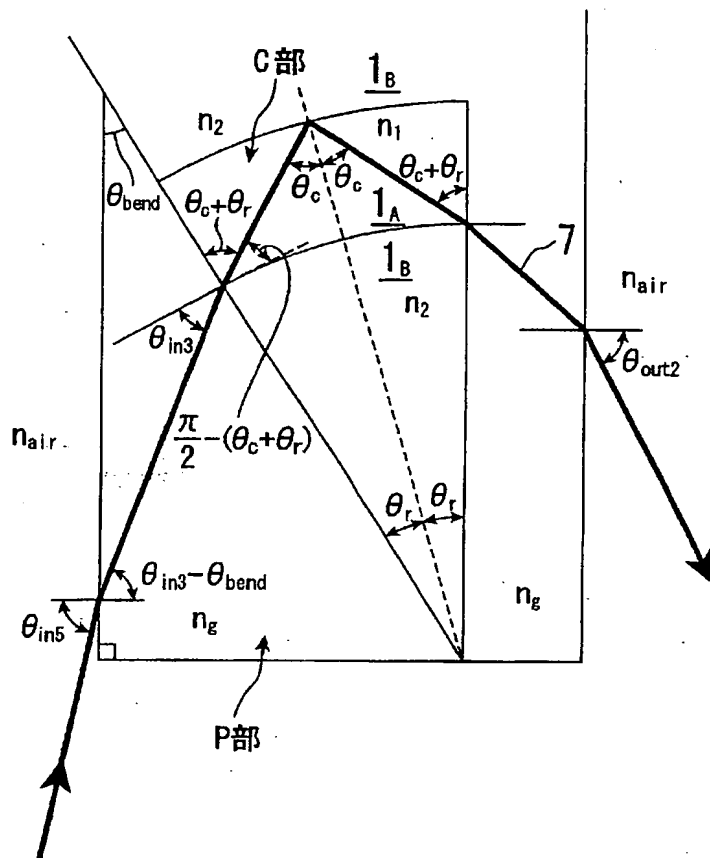
[図28]



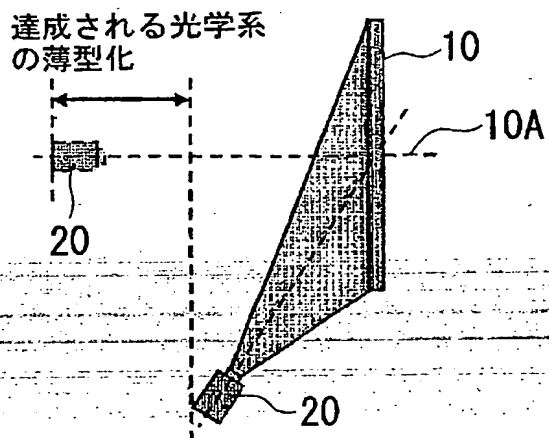
[図29]



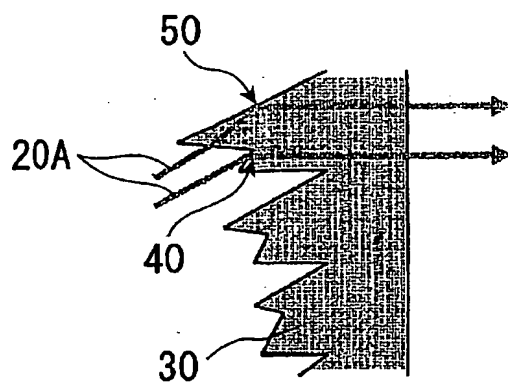
[図30]



[図31]

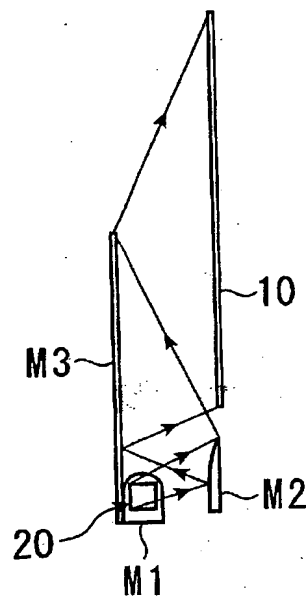


[図32]

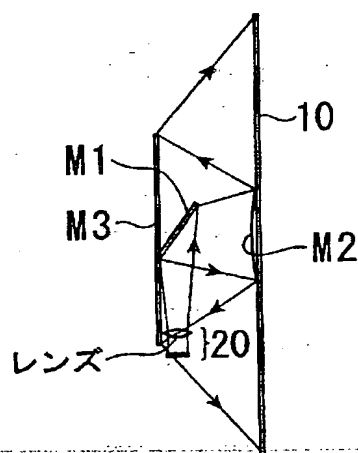


[図33]

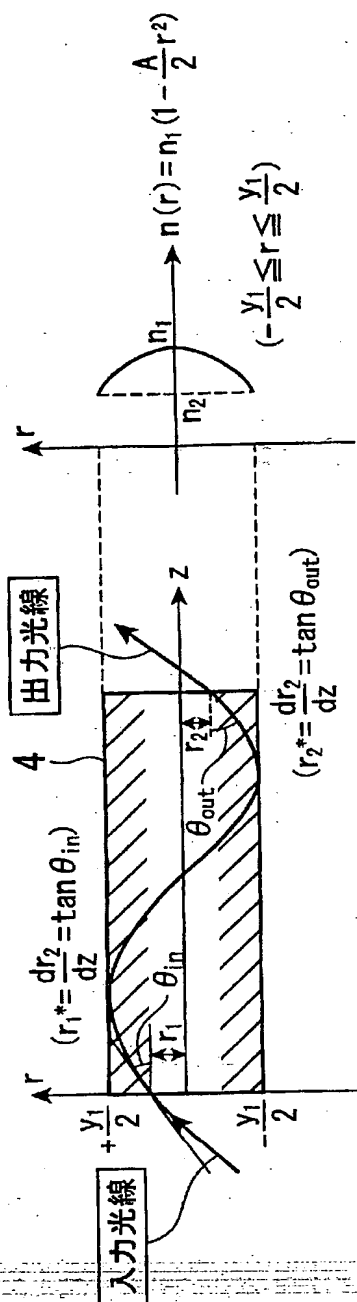
(a)



(b)

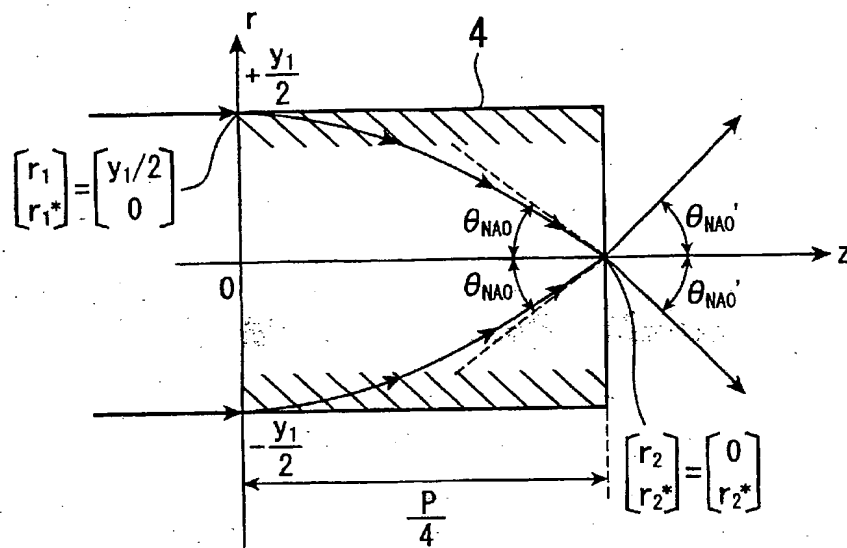


[図34]

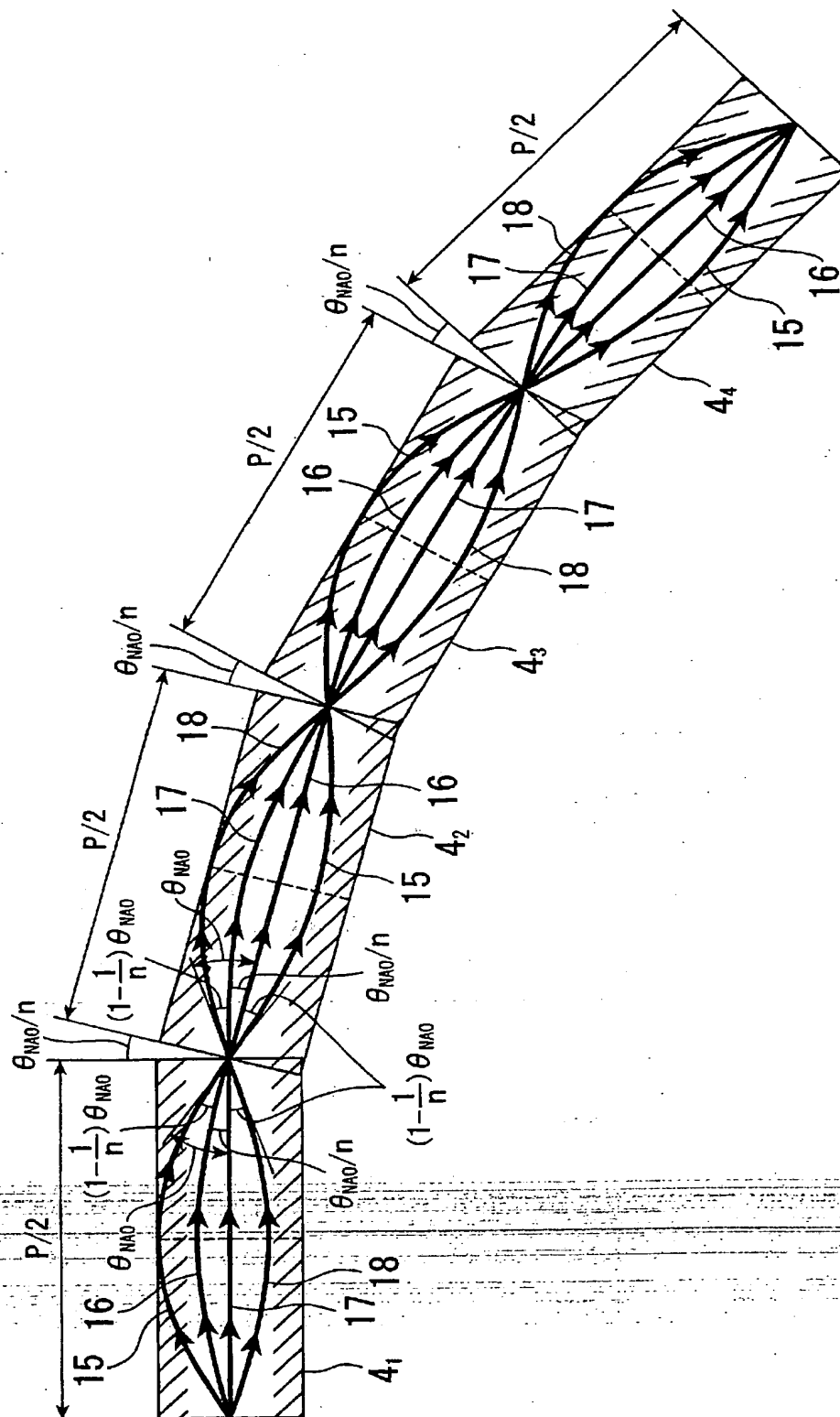




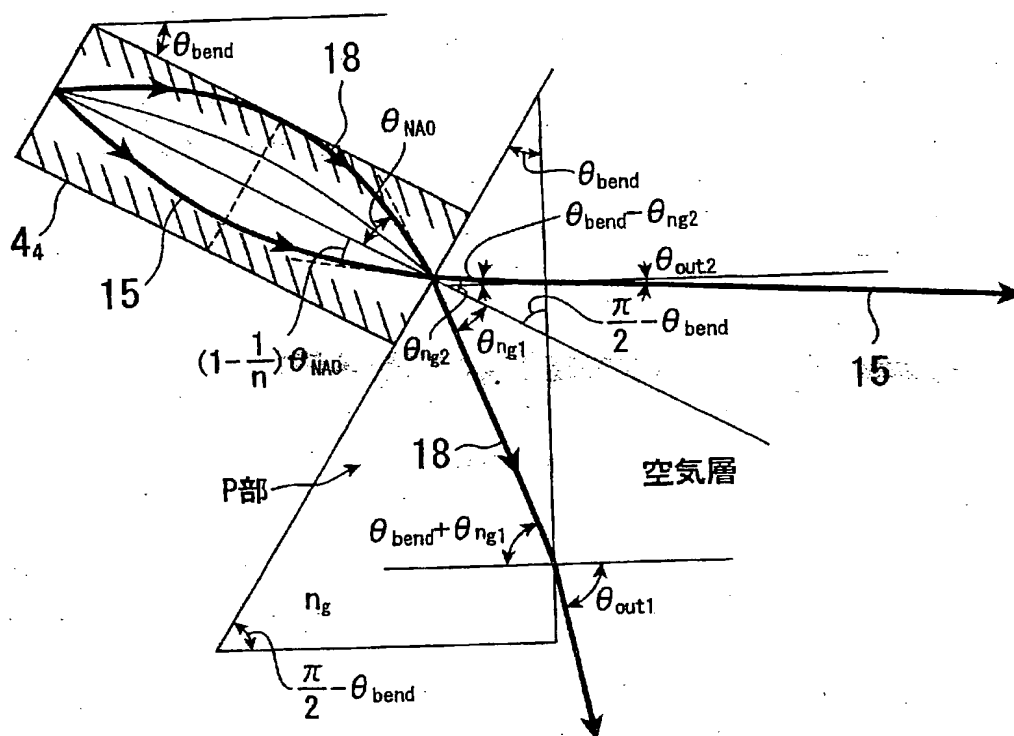
[図35]



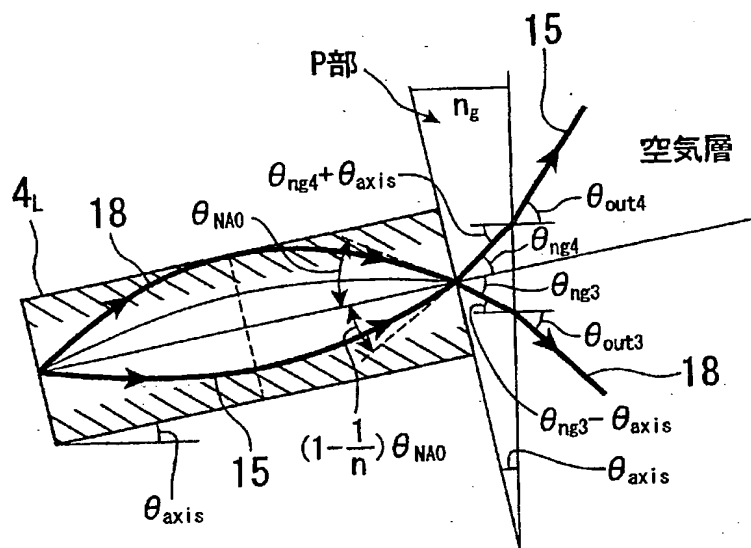
[図36]



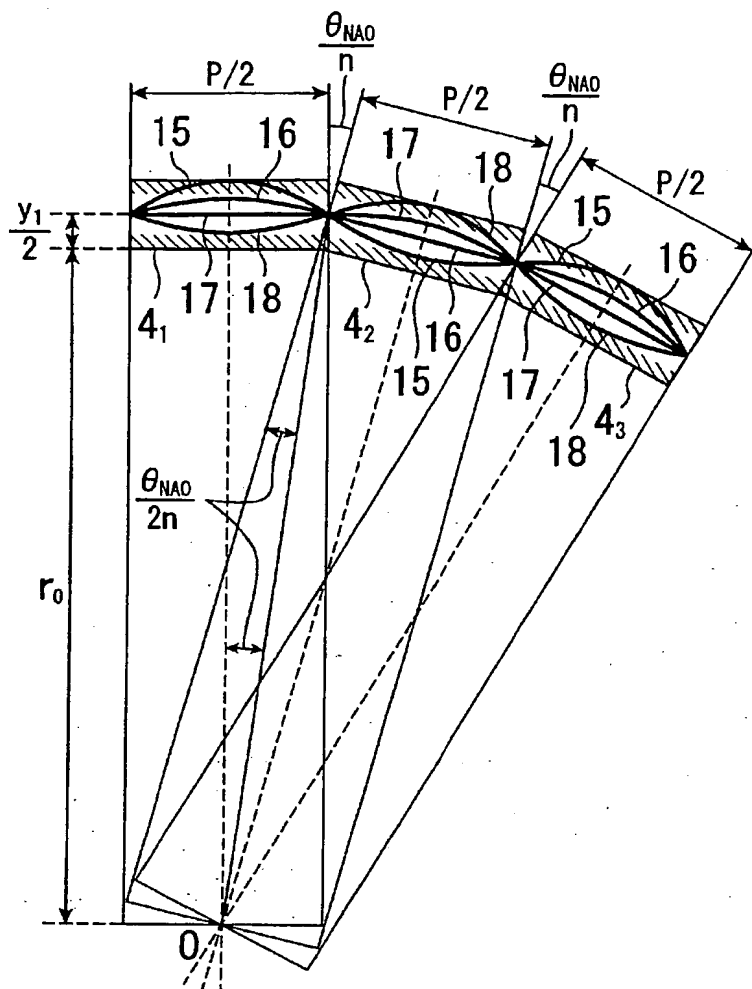
[図37]



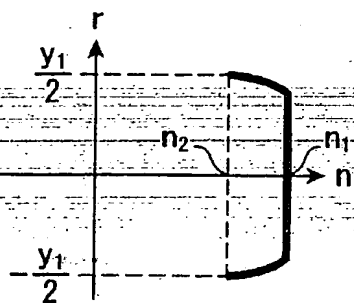
[図38]



[図39]

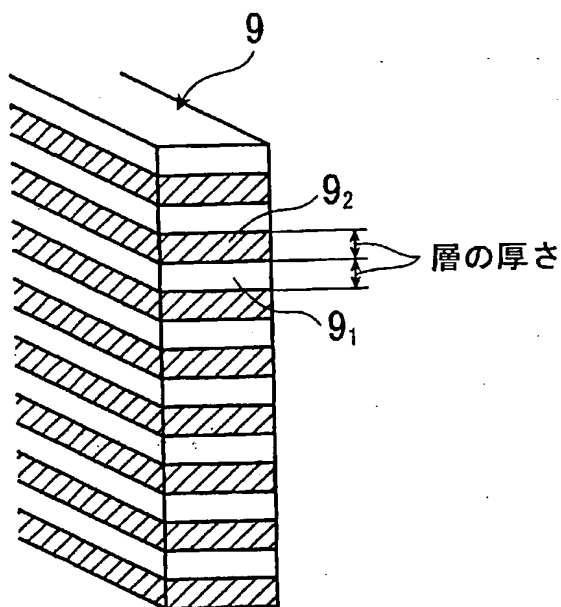


[図40]

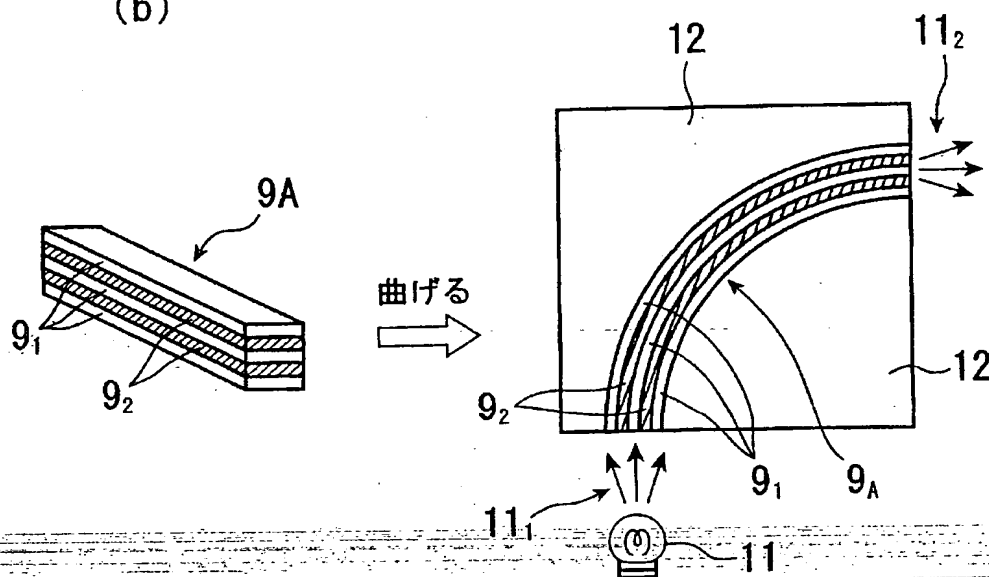


[図41]

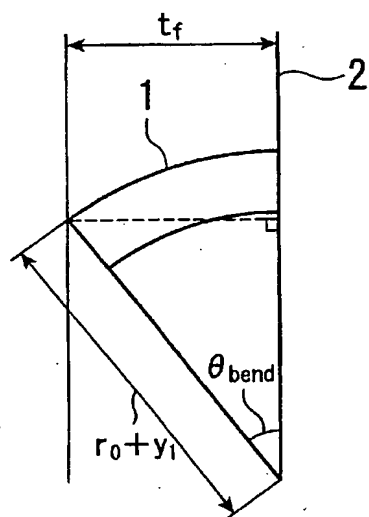
(a)



(b)



[図42]



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**